

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

БІОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ КОМП'ЮТЕРНИЙ ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів,
які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»,
освітньою програмою «Обладнання фармацевтичних та біотехнологічних
виробництв»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2020

Біотехнічні системи і технології. Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», освітньої програми «Обладнання фармацевтичних та біотехнологічних виробництв» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В.М. Мельник, О.В. Воробйова. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,18 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 80 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 8 від 09.04.2020 р.)
за поданням Вченої ради факультету біотехнології і біотехніки (протокол № 7 від 24.02.2020 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

БІОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ КОМП'ЮТЕРНИЙ ПРАКТИКУМ

Укладачі:	<i>Мельник Вікторія Миколаївна</i> , завідувач кафедри біотехніки та інженерії КПІ ім. Ігоря Сікорського, д-р техн. наук, професор <i>Воробйова Ольга Володимирівна</i> , асистент кафедри біотехніки та інженерії КПІ ім. Ігоря Сікорського
Відповідальний редактор	<i>Ружинська Л.І.</i> , доцент кафедри біотехніки та інженерії КПІ ім. Ігоря Сікорського, канд. техн. наук, доцент
Рецензент	<i>Коваленко О.С.</i> , завідувач відділом медичних інформаційних систем Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій і систем НАН України, д-р. мед. наук, професор <i>Сокольский О.Л.</i> , доцент кафедри хімічного, полімерного і силікатного машинобудування КПІ ім. Ігоря Сікорського, канд. техн. наук, доцент

Посібник містить роз'яснення щодо виконання 8 комп'ютерних практикумів, передбачених робочою програмою дисципліни «Біотехнічні системи і технології».

Кожна робота містить індивідуальні варіанти завдань однакового ступеня складності та необхідні теоретичні відомості. Для кожної роботи наводиться зразок її виконання та оформлення, а також приклад програмної реалізації у середовищі системи *MatLab* з використанням пакету моделювання *Simulink* та *Control System Toolbox*. В кінці кожної роботи пропонуються контрольні питання для самоперевірки. Для самостійної роботи студентів надається список рекомендованої літератури.

Для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», освітньої програми «Обладнання фармацевтичних та біотехнологічних виробництв» денної форми навчання.

ЗМІСТ

Зміст.....	3
Вступ.....	4
Комп'ютерний практикум 1	
Візуальне моделювання динамічних систем в середовищі MATLAB-SIMULINK.....	6
Комп'ютерний практикум 2	
Аналіз впливу запізнення регулятора на стійкість та точність БТС.	19
Комп'ютерний практикум 3	
Аналіз систем автоматизації технологічного обладнання з типовими регуляторами БТС.....	23
Комп'ютерний практикум 4	
Аналіз впливу параметрів П-, І-, ПІ-, ПД- та ПІД-регуляторів типовими технологічними об'єктами на часові характеристики систем БТС.....	29
Комп'ютерний практикум 5	
Функціональна ідентифікація системи на основі аналізу перехідної функції БТС в середовищі MATLAB.....	34
Комп'ютерний практикум 6	
Чисельний аналіз моделей елементів біотехнічних систем.....	47
Комп'ютерний практикум 7	
Оптимізація параметрів ПІД-регулятора для регулювання артеріального тиску людини в середовищі MATLAB.....	60
Комп'ютерний практикум 8	
Побудова математичних моделей аналітичним методом (Моделювання теплообмінної апаратури).....	64
Список літератури	74
Додаток	76

ВСТУП

Дисципліна «Біотехнічні системи і технології» відноситься до дисциплін професійної підготовки освітньої програми «Обладнання фармацевтичних та біотехнологічних виробництв» другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності «133 – Галузеве машинобудування».

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів компетентностей:

- ФК3 Здатність застосовувати та вдосконалювати наявні кількісні математичні, наукові й технічні методи, а також комп'ютерні програмні засоби для розв'язування інженерних завдань галузевого машинобудування;
- ФК5 Здатність складати описи принципів дії та будови проєктованих виробів і об'єктів з обґрунтуванням прийнятих технічних рішень;
- ФК8 Застосовувати нові сучасні методи розроблення технологічних процесів виготовлення виробів і об'єктів у сфері професійної діяльності з визначенням раціональних технологічних режимів роботи спеціального устаткування.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

- ЗН8 Знання основних конструкцій машин та апаратів, типових вузлів і деталей та вимог до них
- ЗН11 Знання про межі можливостей математичного, програмного та інформаційного забезпечення проєктування об'єктів і процесів у фармацевтичній та біотехнологічній галузі
- УМ10 Здатність контролювати відповідність конструкцій обладнання, процесів його виготовлення, монтажу та експлуатації вимогам нормативної документації, що чинна в галузі
- УМ12 Уміння виконувати теоретичні і експериментальні дослідження нового та вже існуючого обладнання фармацевтичних та біотехнологічних виробництв.
- УМ13 Уміння розробляти оснащення для проведення досліджень та

технології виготовлення зразків.

Навчальний посібник складає учбово-методичну базу для виконання комп'ютерних практикумів з курсу «Біотехнічні системи і технології» та включає в себе вісім робіт. Їх виконання припускає використання програмного середовища моделювання *Matlab* з розширеннями *Control System Toolbox* та *Simulink*. Кожна робота містить:

- порядок проведення та виконання роботи;
- вихідні дані;
- опис команд *Matlab*, які можуть бути використані при виконанні завдань.



Всі зауваження та побажання, спрямовані на покращення посібника, будуть прийняті авторами із подякою.

КОМП'ЮТЕРНИЙ ПРАКТИКУМ 1

ВІЗУАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB-SIMULINK

Мета роботи: вивчення інтерфейсу і основних можливостей програмного модуля *Simulink*. Знайомство з розділами бібліотеки *Simulink*.

1. КОРОТКИЙ ОПИС РОБОТИ В MATLAB

На екрані монітора розташований логотип системи *MatLab* –  з відповідним написом. Для запуску *MatLab* треба навести “стрілку” покажчика –  на цей логотип та два рази клацнути на ньому лівою клавішею “миші” (ЛКМ). Після цього з'являється робоче вікно *MatLab*, що містить в собі кілька підвікон (рис. 1.1).

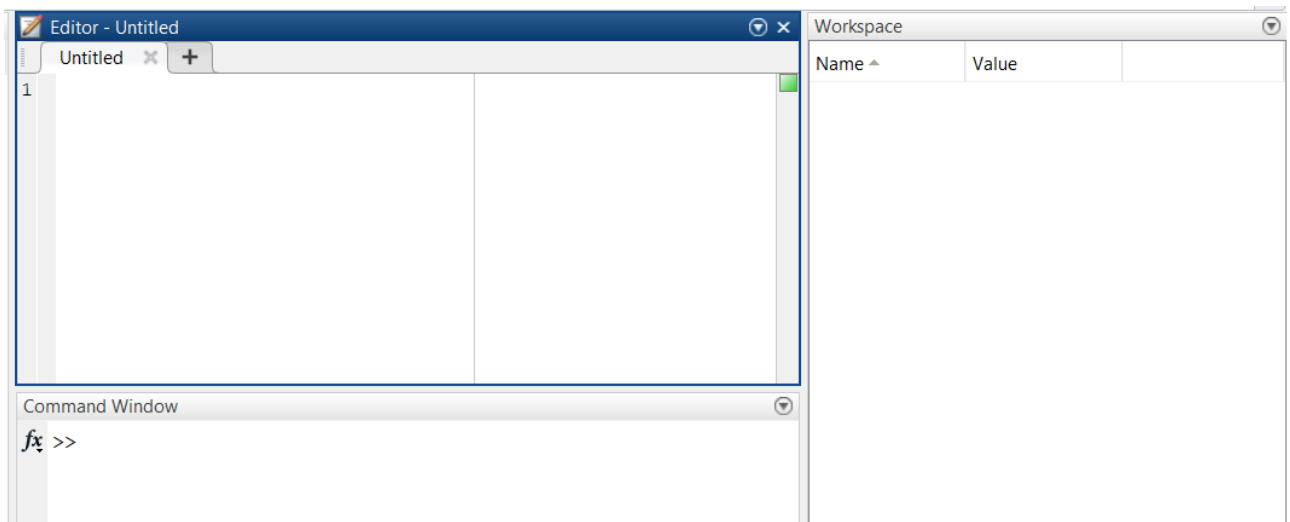


Рис. 1.1 Робоче вікно MatLab

У *Command Windows* містить меню, лінійку з кнопками і клієнтську частину із знаком запрошення `>>`, що називається *рядком введення*.

Після знака `>>` можна вводити з клавіатури числа, імена змінних і знаки операцій, що складають деякий вираз. Після натиснення клавіші **Enter** вираз обчислюється і результат виводиться на екран (рис. 1.2). Після обчислення виразу знизу вікна з'являється вільний рядок для введення нових даних і знак `>>`. Але редагувати можна тільки на останньому рядку.

Команда **clear ім'я1 ім'я2** видаляє задані змінні, а команда **clear all** видаляє відразу всі змінні. Очистити видимий зміст командного вікна можна

командою **clc**, але значення всіх обчислених змінних при цьому зберігаються. Їх можна продивитися, якщо задати ім'я змінної і натиснути **Enter**. Командою **who** можна перевірити, які змінні залишилися в робочому просторі.

Для блокування виведення результатів обчислень деякого виразу його треба закінчити знаком; (крапка з комою). Це буває зручним для приховування результатів проміжних обчислень.

В якості знака присвоювання використовується знак рівності “=”. Наприклад, введення рядка $x = 1$ означає оголошення і ініціалізацію змінної x .

Система *MATLAB* має кілька імен змінних, які використовуються самою системою і входять до складу зарезервованих:

- **i, j** - уявна одиниця (корінь квадратний з -1);
- **pi** – число π (зберігається у вигляді 3.141592653589793);
- **inf** - позначення машинної безконечності;
- **ans** - результат останньої операції без знака присвоювання;
- **realmax** і **realmin** - максимально і мінімально можливі величини числа, які можуть бути використані/

При роботі з масивом чисел встановлені такі рівні пріоритету серед арифметичних операцій:

- поелементне транспонування (.'), поелементне зведення в ступінь (.^), ермітовим поєднане транспонування матриці ('), зведення матриці в ступінь (^);
- додавання (+), віднімання (-);
- множення масивів (.*), праве ділення (./), ліве поділ масивів (.\), множення матриць (*), рішення систем лінійних рівнянь - операція (/), операція (\);
- оператор формування масивів (:).

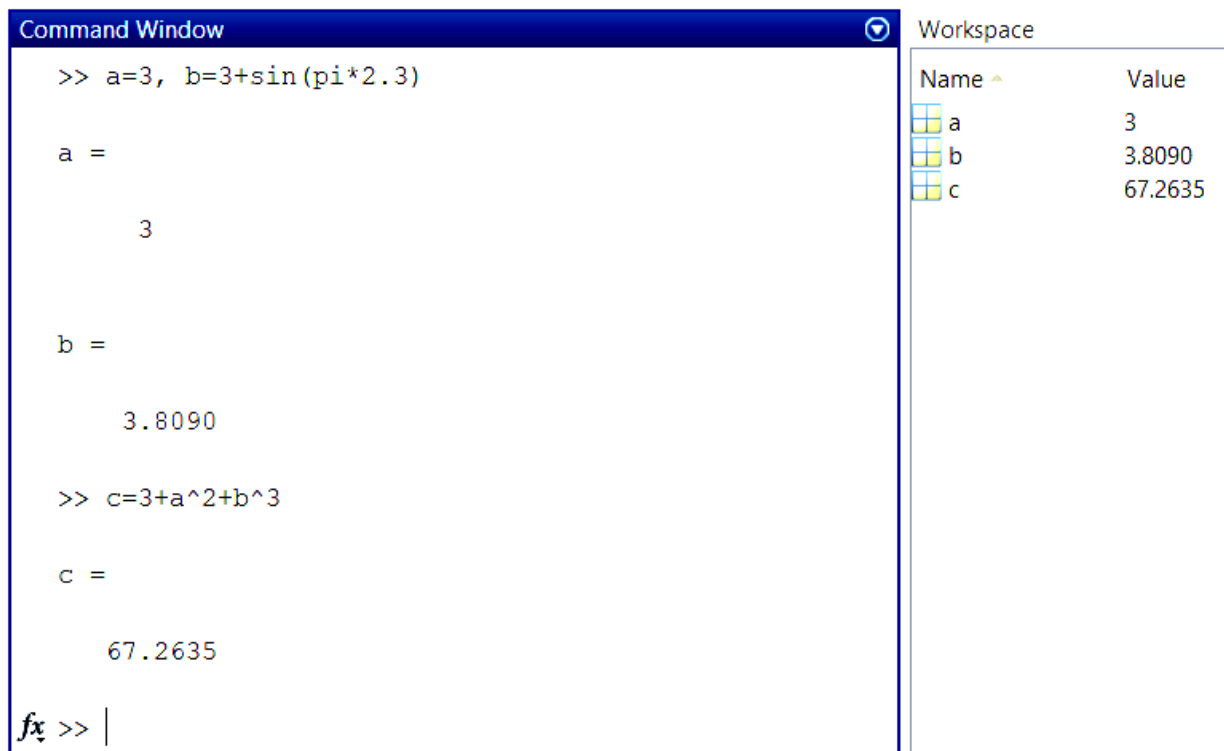


Рис. 1.2 Командне вікно системи MATLAB

Всі значення змінних, обчислені протягом поточного сеансу роботи, зберігаються в спеціальній області пам'яті, робочому просторі системи MATLAB в підвіконні *Matlab Workspace* (рис. 1.2).

Підвікно *Editor* необхідний для створення *m*-файлу. *M*-файли діляться на **файли-функції**, які мають входні параметри та **файли-сценарії**, які не мають входних параметрів (рис.1.3).

Файл-функція має входні параметри змінної, що входять до неї, є локальними.

Файл-сценарій має наступну структуру: основний коментар, додатковий коментар, тіло файлу з будь-якими виразами, що не виконуються. *Основний коментар* – це перший рядок текстових коментарів, що починається зі знаку % в першій позиції, а *додатковий коментар* – подальші рядки зі знаком %. При виконанні команди *help ім'я_файлу* основний коментар виводиться в командному вікні.

Примітка: ім'я **m-файлу** з *M-функцією* повинно співпадати з ім'ям самої *функції*.

% Лабораторна робота 1

% Розрахунок функції

function y=func2(x,z)

y=log(x+z)+x./(x+z);

Y Command Windows:

y=func2(1,1)

x1=0:1:5;

x2=1;1:6;

y=func2(x1,x2)

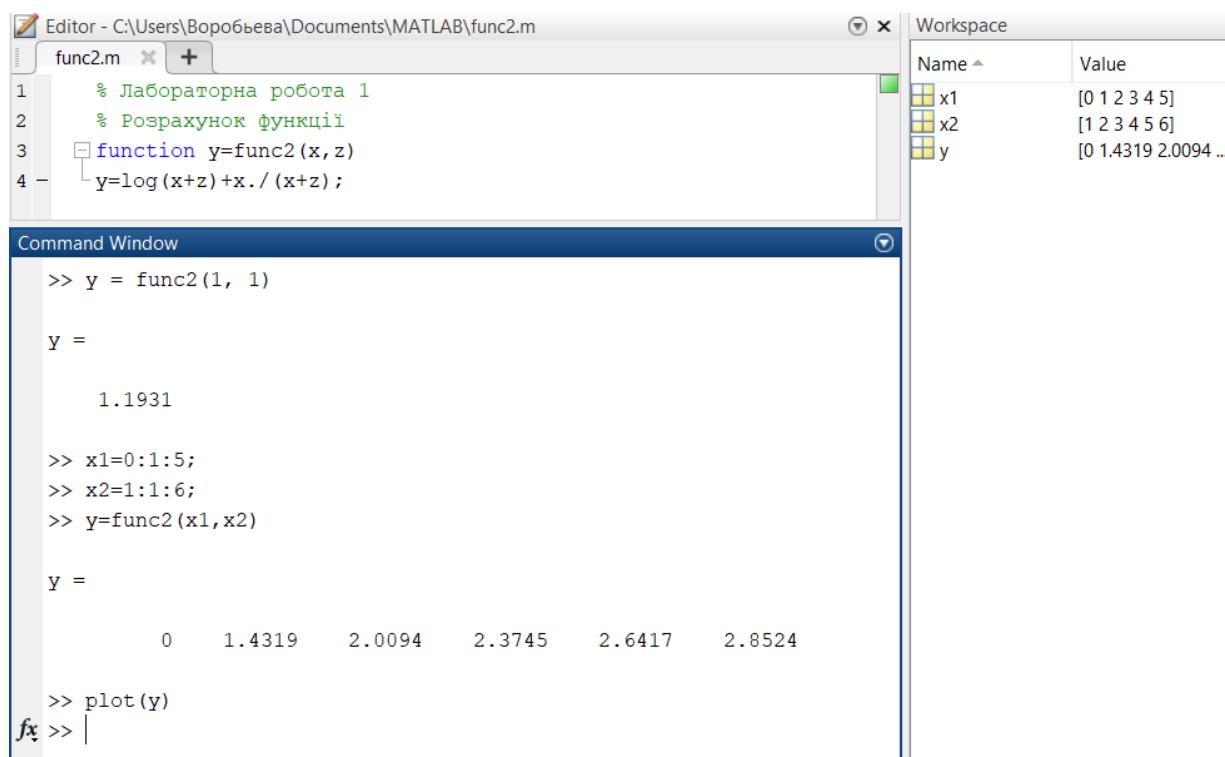


Рис. 1.3 Приклад роботи з *m*-файлом

Для виведення графіку розрахунку використовують команду **plot** (рис. 1.4).

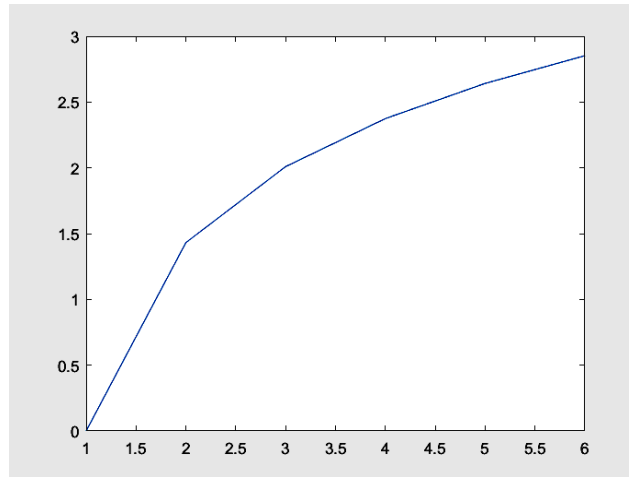


Рис. 1.4. Графік func2

Також, при необхідності, є можливість виведення декількох графіків, визначати колір, стиль лінії і маркери за допомогою ще одного аргументу функції plot:


plot(x,y,'color_style_marker')

де **color_style_marker** - це символічний рядок (обмежений поодинокими лапками), що характеризує колір, стиль лінії і тип маркера:

- символи визначення кольору: 'c', 'm', 'y', 'r', 'g', 'b', 'w', 'k'. Вони відповідають кольорам cyan, magenta, yellow, red, green, blue, white, black;
- позначення стилю лінії: '-' суцільна; '--' пунктирна; ':' штрихова; '-.' штрих-пунктирна;
- типи маркера: '+', 'o', '*', 'x'.

2. РЕДАКТОР СТРУКТУРНИХ СХЕМ ПАКЕТУ SIMULINK

Simulink за структурною схемою складає та розв'язує рівняння стану моделі. Потім модель запускається на виконання. Запуск імітації забезпечує математичне моделювання побудованої моделі у **модельному часі** з наочним візуальним представленням результатів у часі **реальному**.

Запуск пакета SIMULINK, інтегрованого в середу MATLAB, здійснюється натисканням кнопки Simulink в панелі інструментів (рис. 1.5) або командою >> Simulink в командному рядку MATLAB. При натисканні цієї кнопки  відкривається вікно інтегрованого браузера бібліотек (рис. 1.6).

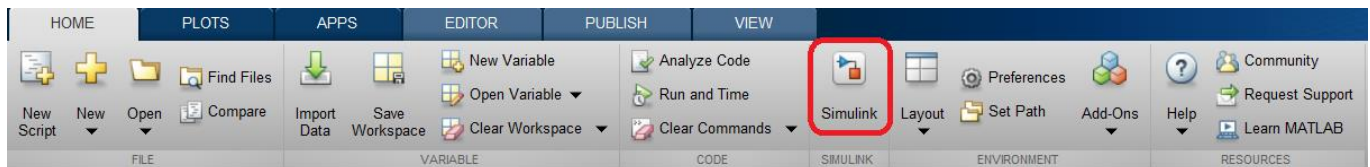


Рис. 1.5 Виклик Бібліотеки блоків Simulink

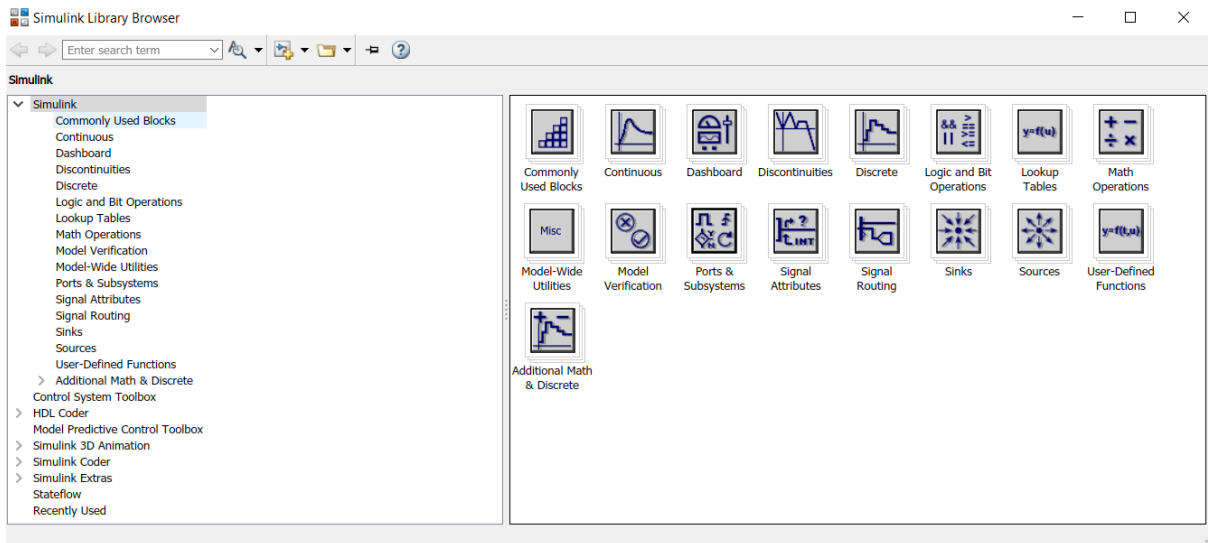


Рис. 1.6 Вікно браузера бібліотек Simulink

У вікні браузера міститься дерево компонентів бібліотек *Simulink*. Для перегляду того чи іншого розділу бібліотеки досить виділити його мишею - в правій частині вікна «*Simulink Browser Library*» з'явиться набір піктограм компонентів активного розділу бібліотеки.

У полі редактора користувачем здійснюється побудова структурної схеми системи. Після її редагування, за допомогою команди *Save As ...* пункту меню *File* редактора, файл, що містить цю модель, запам'ятовується, за замовчуванням, у поточній (робочій) директорії *Work* під користувальницьким ім'ям з розширенням *.mdl*. Щоб не мати проблем, пов'язаних з використанням кирилиці, ім'я файлу бажано набирати англійськими літерами.

Для задання часу моделювання процесу в панелі інструментів редактора вводимо час роботи (сек) (рис. 1.7).

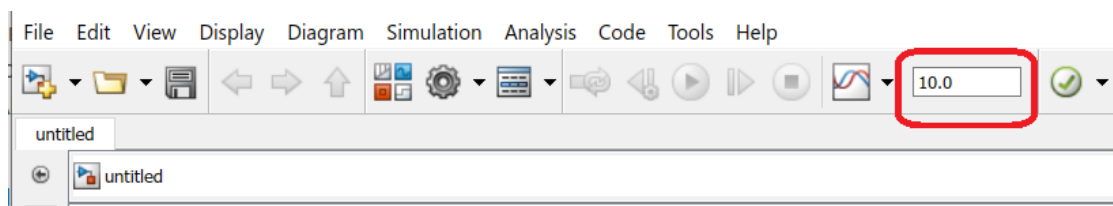



Рис. 1.7 Командний рядок Simulink

Для того, щоб запустити моделювання, треба клацнути ЛКМ по кнопці  на панелі інструментів. Ця ж кнопка дозволяє зупинити моделювання при необхідності.

3. БЛОКИ ПАКЕТУ SIMULINK

Моделі створюються за технологією Drag-and-Drop (перетягни і залиш) з окремих блоків (модулів). Самі модулі зберігаються в бібліотеках програмного модуля Simulink, які мають ієрархічну структуру і можуть розширюватися користувачем за рахунок розробки власних блоків.

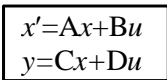
3.1. Блоки розділу Simulink


Розділ *Simulink* містить групи блоків (рис. 1.6), призначених для побудови структурних схем систем автоматично керування різних типів. Наведемо кілька з цих груп та блоків, які використовуються при виконанні комп'ютерних практикумів.

Група блоків **Continuous** містить компоненти лінійних неперервних САР і відкривається при клацанні ЛКМ на її назві або відповідній іконці. У правій частині браузера (див. рис. 1.6), у порядку зверху донизу, наведено типові блоки структурних схем неперервних САР:

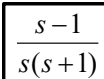
 – ідеальна диференціальна ланка;

 – ідеальна інтегровальна ланка;

 – представлення ланки у просторі станів;


 – представлення ланки у виді передатної функції;


 – ланки ідеального сталого (або змінного) запізнення;

 – представлення ланки у виді нулів та полюсів передатної функції.

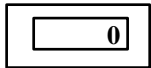
Група блоків **Math Operations** (блок математичних операторів) містить компоненти, які здійснюють математичне перетворення вхідних сигналів. При виконанні комп'ютерних практикумів знадобляться наступні його компоненти:

 – підсилювач;

 – повзунковий регулятор підсилення;


 – блок підсумовування (або неузгодженості).

Група блоків *Sinks* (приймачі інформації) містить компоненти, які здійснюють графічне або цифрове відображення інформації – вхідних, проміжних та вихідних сигналів системи керування. Наведемо деякі з них:


 – блок “цифровий дисплей” (виведення у цифровому виді);


 – блок виведення графічної інформації типу віртуальний осцилограф;

 – блок призупинення моделювання (за умовою);


 – блок побудови графіків у площині – $y=f(x)$.

Група блоків *Sources* містить компоненти, які є джерелами вхідних сигналів системи керування.

 – генератор білого шуму, обмеженого смугою;


 – генератор гармонійного сигналу із зменшенням частоти;


 – джерело неперервного часу (годинник);


 – джерело сталого сигналу;


 – джерело дискретного часу (цифровий годинник);

 – генератор імпульсів;

 – джерело лінійного сигналу;

 – генератор випадкових чисел;

 – генератор періодичної послідовності лінійно наростаючого сигналу;

 – генератор різних за формою періодичних сигналів;

 – генератор сигналу, форму якого графічно задає користувач;



– генератор гармонійних сигналів;



– генератор ступінчастого сигналу;



– генератор випадкових чисел, що мають рівномірне розподілення.

Група блоків **Signal Routing** (Розведення сигналів) містить компоненти, які здійснюють встановлення шляху розповсюдження сигналів. Наведемо деякі з них, які є корисними при виконанні комп'ютерного практикуму:



– мікшер – пристрій (блок), що здійснює мультиплексний режим передачі інформації, тобто режим, за яким по одній лінії (каналу) може роздільно передаватися кілька незалежних сигналів;



– блок *Manual Switch* (Ручний перемикач) здійснює ручне перемикання входів.

3.2. Інші блоки бібліотеки.



– підсумовуюча компонента групи блоків *Net Input Functions* з розділу *Neural Network Blocks*;



– блок, що здійснює запис сигналів (інформації) до робочої області пам'яті *Matlab*. Знаходиться цей блок у групі *DSP Sinks* розділу *DSP Blockset*;



– джерело імпульсу (розділ *DSP Blockset* → група блоків *DSP Sources*);

3.3. Побудова структурної схеми САР.

Для побудови структурної схеми системи керування треба здійснити наступні дії:

- створити новий файл типу *.mdl*, що приведе до відкриття редактора схем пакету *Simulink* з порожнім файлом без імені, в полі якого буде побудована майбутня, створювана користувачем, модель САР у виді структурної схеми;
- відкрити браузер бібліотеки моделювання *Simulink Library Browser*;
- подвійним клацанням ЛКМ активізувати відповідний розділ та групу блоків;
- перетягнути ЛКМ або правою клавішею “миші” (ПКМ) за технологією *Drag*

& Drop необхідний блок схеми з браузера бібліотеки у поле графічного редактора.

Увага: Редагування виду блоків, встановлення їх параметрів та інші дії з блоками можна здійснювати тільки тоді, коли вони знаходяться в полі редактора схем пакета *Simulink*.

Переміщення блоків структурної схеми у полі графічного редактора здійснюється перетаскуванням його “мишею” при натиснутій ЛКМ, або шляхом відмічення блока ЛКМ та наступного його переміщення за допомогою клавіш клавіатури із стрілками.

Копіювання здійснюється або перетаскуванням блока “мишею” при натиснутій ПКМ, або шляхом відмічення блока ЛКМ та наступного її переміщення за допомогою клавіш клавіатури із стрілками при натиснутій клавіші “ctrl”.

Виділення блока схеми САР здійснюється клацанням на блоці ЛКМ. Виділення частини схеми можна зробити, натиснувши ЛКМ в одному з кутів передбачуваної рамки, якою треба обвести частину схеми, що необхідно виділити, і, утримуючи ЛКМ, розтягти рамку, яка з'явилася, до необхідних розмірів. Після цього ЛКМ треба відпустити.

Кожний блок структурної схеми має власну системну назву, яка, за замовчуванням, розташовується під блоком. Назву можна змінити на російську або українську, але бажано використовувати при цьому англійську розкладку клавіатури, тобто назва якби російська або українська, але набрана римськими літерами.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ:

Математична модель двоколісного робота:

$$\begin{aligned}V_x &= (r \cdot \dot{\phi}_1 + a \cdot \dot{\theta}) \sin \theta \\V_y &= (r \cdot \dot{\phi}_2 + a \cdot \dot{\theta}) \sin \theta \\ \dot{\theta} &= \frac{r \cdot \dot{\phi}_2 - r \cdot \dot{\phi}_{12}}{2a}\end{aligned}$$

де r – радіус колес; $\dot{\phi}_1$, $\dot{\phi}_2$ – кути повороту ведучих коліс; θ – кут повороту навколо вертикалі платформи, відлічуваний від осі Ox .

Побудувати структурну схему руху двоколісного робота у відповідності до рис. 1.8.

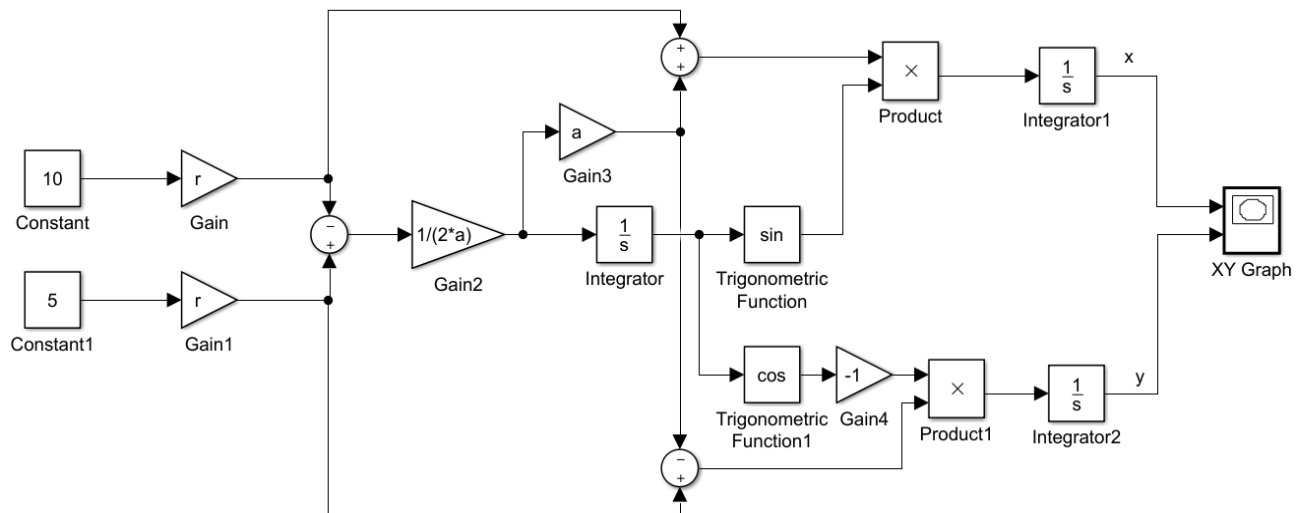


Рис. 1.8 Структурна схема руху двоколісного робота

Основні елементи бібліотек необхідні для проведення комп'ютерного практикуму наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Блок	Бібліотека Simulink	Опис
XY Graph	Sinks	використовується для побудови фазових портретів і різних двомірних графіків.
Constant	Sources	Постійна величина
Integrator	Continuous	Інтегратор вхідного сигналу
Gain	Math Operation	Підсилювач
Sum	Math Operation	Блок суматора, що виконує операції додавання
Product	Math Operation	Виконує обчислення добутку поточних значень сигналів.
Trigonometric Function	Math Operation	Виконує обчислення тригонометричної функції.

Оскільки величини r та a не введені в блоки, то їх необхідно визначити. Для цього необхідно відкрити *Model Properties* (рис. 1.9-1.10).

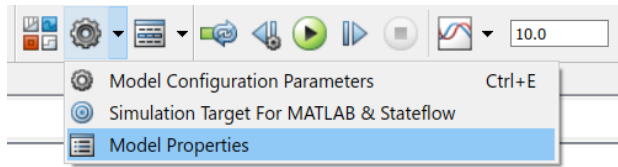


Рис. 1.9

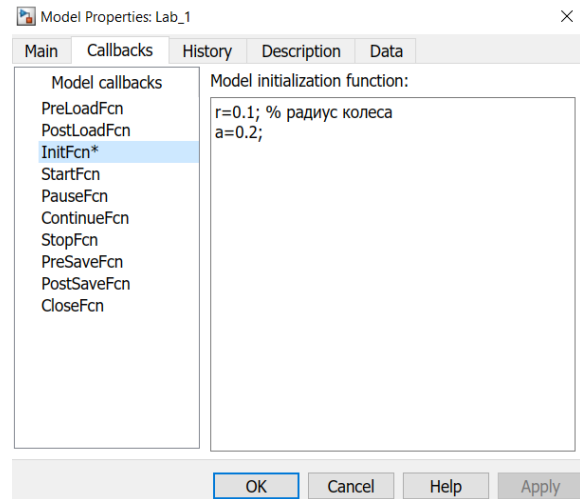



Рис. 1.10

Виконати моделювання натиснувши на кнопку .

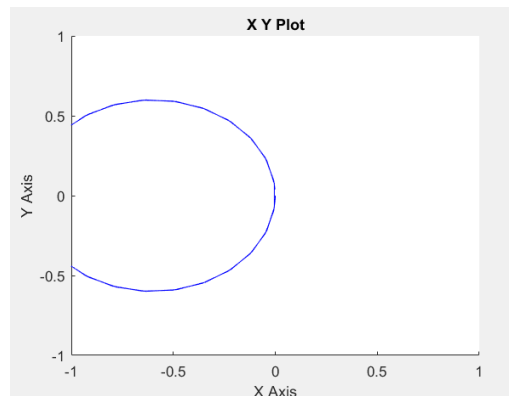


Рис. 1.11 Результат руху двоколісного робота

Для того, щоб показати повний рух робота необхідно збільшити Ох. Відкриваємо блок XY Graph та вносимо зміни (рис. 1.12) та отримуємо результат (рис. 1.13).

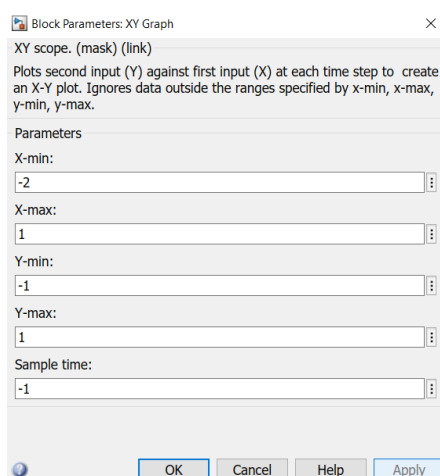


Рис. 1.12 Блок XY Graph

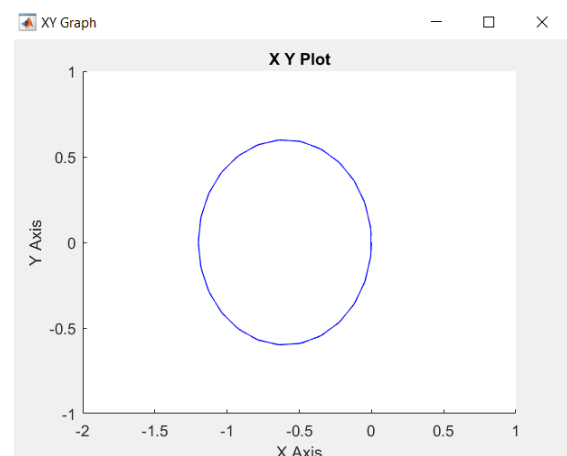


Рис. 1.13 Результат руху двоколісного робота

Зробити висновки.

КОМП'ЮТЕРНИЙ ПРАКТИКУМ 2

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗАПІЗНЕННЯ РЕГУЛЯТОРА НА СТІЙКІСТЬ ТА ТОЧНІСТЬ БТС

Мета роботи: набуття студентами навичок дослідження систем автоматизації з чистим запізненням.

Методичні вказівки:

При підготовці до комп'ютерного практикуму слід вивчити наступні питання:

1. Особливості пакету Simulink
2. Вивчити інструкцію до комп'ютерного практикуму
3. Типові закони регулювання систем автоматизації БТС.
4. Часові характеристики систем автоматичного регулювання БТС.
5. Динамічна та статична точність систем автоматизації БТС.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ:

Комп'ютерний практикум виконується у середовищі системи **MatLab** з використанням пакету моделювання **Simulink**.

Побудувати структурну модель системи автоматизації БТС у відповідності до рис. 2.1, обираючи основні компоненти бібліотек необхідні для проведення комп'ютерного практикуму, що наведені в таблиці 2.1. На рис. 2.1 позначено: g та f – задавальна (вхідна) та збурювальна дії відповідно; y – керована (вихідна) координата; u – керуюча дія; x – похибка.

Після побудови схеми (див. далі) файл, в якому міститься структурна схема повинен мати назву:

Model_2_Var(номер бригади або варіанта).mdl.

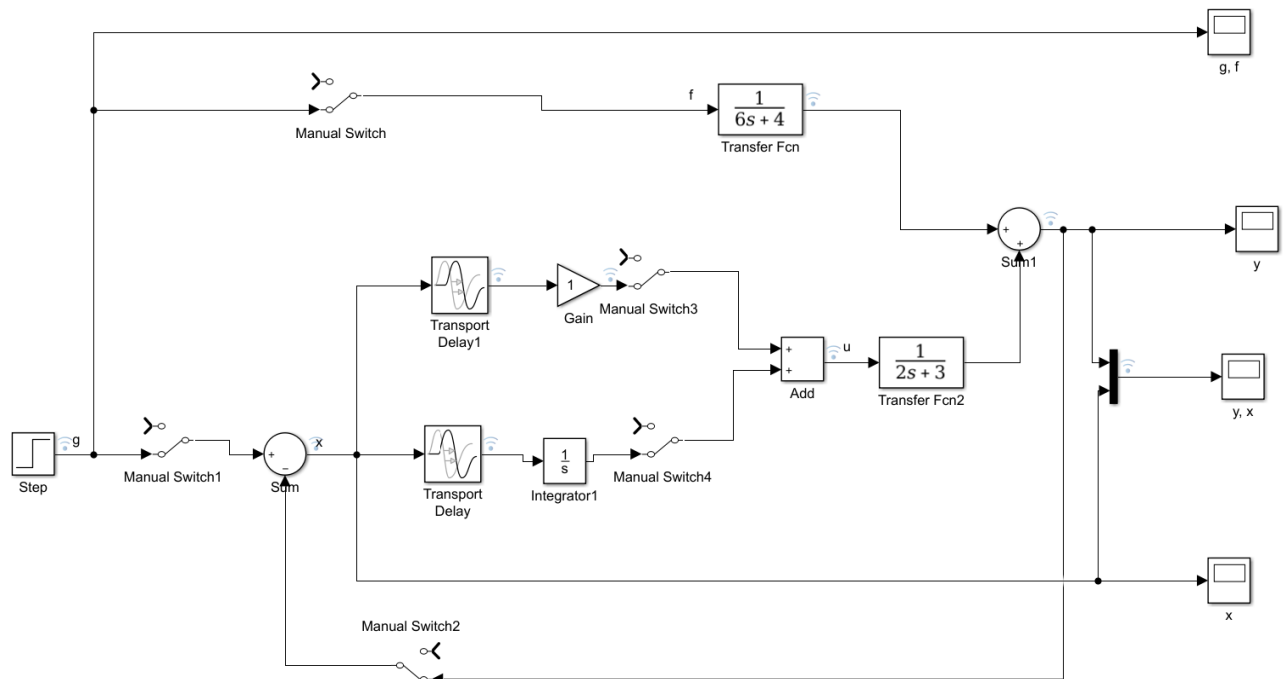


Рис. 2.1. Структурна схема САР

Таблиця 2.1

Блок	Бібліотека Simulink	Опис
Step	Sources	Ступінчастий сигнал
Sum	Math Operation	Блок суматора, що виконує операції додавання
Add	Math Operation	Додавання
Gain	Math Operation	Підсилювач
Scope	Sinks	Виводить графічне вікно
Mux	Signal Routing	Мультиплексом, для об'єднання вхідних сигналів
Transfer Fcn	Continuous	Передаточна функція
Transport Delay	Continuous	Блок затримки сигналу
Integrator	Continuous	Інтегратор вхідного сигналу
Manual switch	Signal Routing	Перемикач
To Workspace	Sources	Записує результат

Вихідні дані для виконання роботи.

Встановити параметри об'єкта керування та регулятора за номером бригади у відповідності до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Бригада	Об'єкт керування за збуренням		Об'єкт керування		<u>Gain</u> - підсилювач	<u>Integrator</u> – інтегрування вхідного сигналу
	Коефіцієнт передачі	Стала часу	Коефіцієнт передачі	Стала часу		
1	5	3	1	4	1,5	1
2	4	2	2	6	2	1
3	3	4	2	8	3	1
4	2	5	1	3	4	1
5	1	6	2	7	4,5	1

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРАКТИКУМУ

1. Відключити за допомогою перемикача інтегруючий канал та дію збурення. Підключити зворотній зв'язок та задавальну дію. Провести попереднє моделювання, під час якого визначити час моделювання та коефіцієнт передачі підсилювача. Погодити його з викладачем.

2. Визначити час запізнення (за видом перехідної характеристики), що відповідає знаходженню системи на границі стійкості.

3. Виконати пункт 2 для різних перепадів ступінчатого сигналу блоку Step (табл. 2.3) при зміні блоків затримки Transport Delay підсилення регулятора (табл. 2.4).

Таблиця 2.3

Дослідження	1	2	3	4
Initial value – Початкове значення	0	0	0,5	0,5
Final value – Фінальне значення	1	1	0,1	0,1
Sample time – Час вибірки	0	3	0	3

Таблиця 2.4

Дослідження	1	2
Time delay – час затримки	1	5
Initial input – початкове значення вих. сигн.	0	3

4. Побудувати границю стійкості за видом перехідної характеристики.

5. Виконати пункти 1 – 4 для пропорційного регулятора (П-регулятор), інтегруючого регулятора (І-регулятора) та пропорційно-інтегруючого регулятора (ПІ-регулятора). Замість коефіцієнта підсилення використовувати сталу часу інтегратора. Побудувати границі стійкості за видом перехідної характеристики для всіх типів регуляторів.

6. Виконати оцінку якості перехідних процесів системи

7. Сформулювати висновки

Зміст звіту

1. Мета проведення комп'ютерного практикуму.
2. Порядок проведення роботи.
3. Графіки побудованих перехідних характеристик (кількох за вибором бригади). Структурна схема.
4. Графіки границь стійкості та залежності помилок від сталої часу І-регулятора та коефіцієнта підсилення П-регулятора.
5. Аналіз отриманих результатів. Висновки щодо впливу часу запізнення на стійкість систем автоматизації та її помилки.
6. Висновки

Контрольні запитання:

1. Як встановлювати налаштування моделювання?
2. Для чого використовують регулятори?
3. Типи регуляторів.
4. Що таке динамічна та статична помилки системи автоматизації?
5. Що таке об'єкти керування з самовирівнюванням та без самовирівнювання?
6. Як за видом перехідної характеристики визначити стійкість системи керування?

КОМП'ЮТЕРНИЙ ПРАКТИКУМ 3

АНАЛІЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ З ТИПОВИМИ РЕГУЛЯТОРАМИ БТС

Мета роботи: набуття студентами навичок дослідження систем автоматизації з типовими регуляторами.

Методичні вказівки:

При підготовці до комп'ютерного практикуму слід вивчити наступні питання:

1. Особливості пакету *Simulink*
2. Вивчити інструкцію до комп'ютерного практикуму
3. Основні закони регулювання систем автоматизації та їх характеристики
4. Основні методи моделювання лінійних систем в пакеті *Simulink*.
5. Вплив ПД-регулятора на якісні показники процесу регулювання БТС.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ:

Комп'ютерний практикум виконується у середовищі системи **MatLab** з використанням пакету моделювання *Simulink*.

Побудувати структурну схему САР.

У роботі потрібно провести дослідження одноконтурної САР з ПД-регулятором. Її структурна схема показана на рис. 3.1.

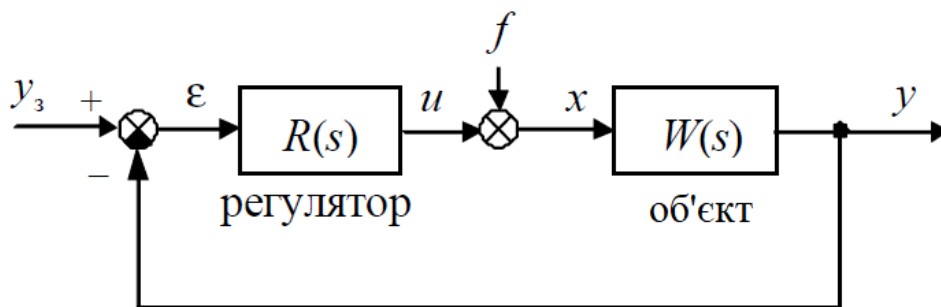


Рис. 3.1. Структурна схема одноконтурної САР

Передаточна функція промислових об'єктів у багатьох випадках з достатньою точністю може бути представлена у вигляді:

$$W(s) = \frac{K \cdot e^{-\tau s}}{(Ts + 1)(\sigma s + 1)},$$

де T , s – відповідно, велика й мала постійні часу об'єкта управління; K –

коефіцієнт посилення об'єкту управління; t – час чистого запізнювання.

Передаточна функція ПІД-регулятора:

$$W_p(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s,$$

де K_p , K_i , K_d – відповідно, конфігураційні коефіцієнти пропорційної, інтегральної і диференціальної складової.

Вихідні дані для виконання роботи.

Встановити параметри об'єкта керування та регулятора за номером варіанту у відповідності до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

№	Об'єкт керування 1		Об'єкт керування 2		Час запізнення	№	Об'єкт керування 1		Об'єкт керування 2		Час запізнення
	Коефіцієнт передачі	Стала часу	Коефіцієнт передачі	Стала часу			Коефіцієнт передачі	Стала часу	Коефіцієнт передачі	Стала часу	
1	1,5	12	4	1	3	9	1,5	10	1	2	3
2	2,0	10	3	1	3	10	2,0	14	1	3	4
3	3,0	14	6	1	4	11	3,0	11	1	5	5
4	3,5	18	7	1	4	12	3,5	12	1	4	2
5	3,2	18	3	1	5	13	3,2	9	1	4	3
6	0,6	11	5	1	5	14	0,6	16	1	6	5
7	1,3	10	4	1	2	15	1,3	15	1	2	4
8	2,7	12	3	1	2	16	2,7	18	1	3	3

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРАКТИКУМУ

1. Побудувати схему ПІД-регулятора відповідно до схеми на рис. 3.2 з такими ж коефіцієнтами.

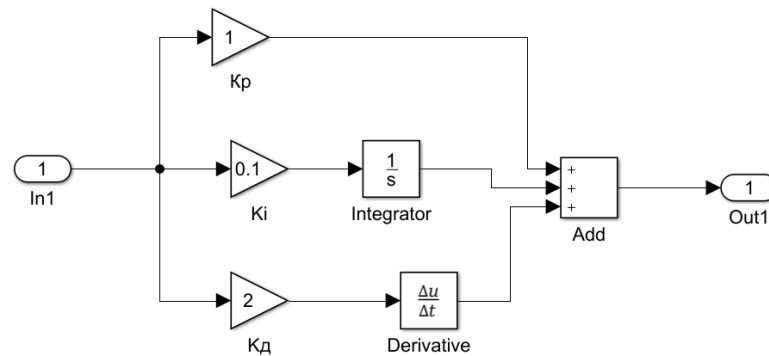


Рис. 3.2. Структура ПІД-регулятора

2. Створіть зі схеми (рис. 3.2), що реалізує ПІД-регулятор, підсистему (*Subsystem*). Для цього виділіть всі елементи схеми, натисніть на виділеній області праву кнопку миші (ПКМ) і у вікні виберіть пункт **Create Subsystem**

3. Відредагуйте назву блоку, що утворився, назвавши його – «PID».

4. Побудувати структурну модель системи автоматизації у відповідності до рис. 3.3.

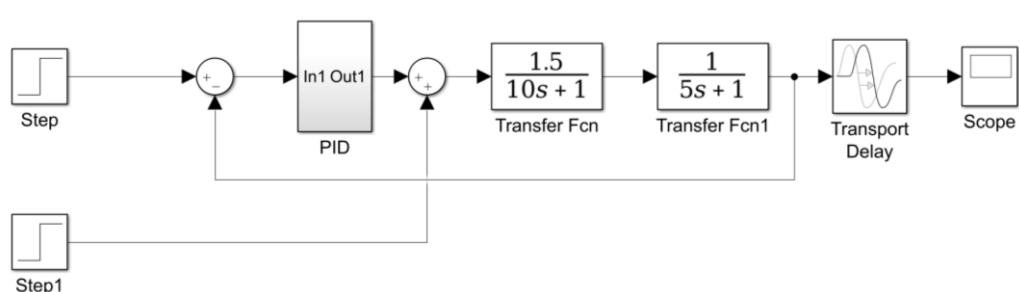


Рис. 3.3. Реалізація одноконтурної САР в пакеті SIMULINK

5. Об'єднайте Transfer Fcn та Transfer Fcn1 в підсистему, як в п. 2 та назвіть блок «Об'єкт» («Object»).

6. Відредагуйте назви блоків на: Step – «Задано» («Set») та Step1 – «Збурювання» («Disturbance») (рис. 3.4).

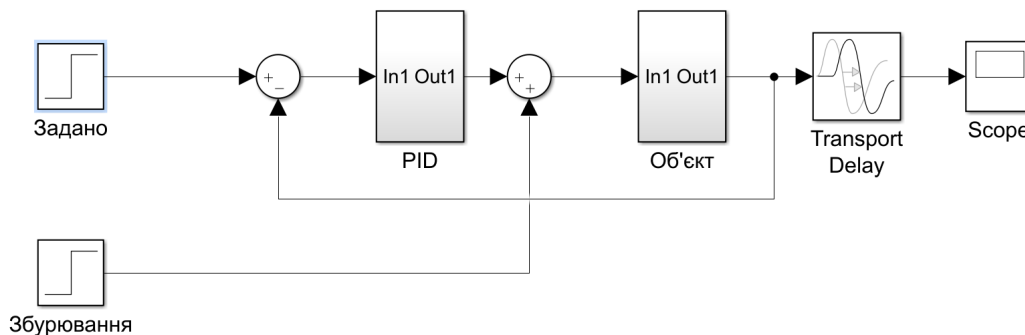



Рис. 3.4. Одноконтурна САР в пакеті SIMULINK

7. Встановіть в обох блоках час подачі сигналу рівне 0 (Initial value).
8. Збережіть модель у своїй папці під ім'ям **lab3_Var**(номер бригади або варіанта).**mdl**
9. Встановіть час моделювання 100 секунд
10. Моделювання «без збурення». У блоці з іменем «Задано» («Set») встановіть величину подачі сигналу (Final value) рівну 1..5 (задається викладачем), а в блоці «Збурювання» («Disturbance») – «0».
11. Моделювання «зі збуренням». Для цього необхідно встановити сигнал «0» для блоку «Задано» («Set»). Для блоку «Збурювання» («Disturbance») встановити «1...16» (задається викладачем).
12. Моделювання «зміни завдання при збуренні», встановивши для обох блоків значення, які були задані викладачем по п.10-11.
13. Виконати моделювання натиснувши на кнопку . Вигляд перехідного процесу в одноконтурній САР при зміні завдань можна спостерігати в області Scope. Побудуйте графіки перехідного процесу при відпрацюванні «без збурення», «зі збуренням» та «зміни завдання при збуренні».
14. Встановіть в блоках значення сигналів, як в п. 11, для виконання моделювання «зі збуренням». Додайте до схеми блоки *To Workspace* з бібліотеки Sinks та встановіть за схемою (рис. 3.5). В параметрах блоків встановити:

Variable name: **Uprav** (для блоку «Управління об'єктом») та **Povorot** (для блоку «Поворот об'єкта»),

Save format: **Array** (збереження даних у вигляді матриці).

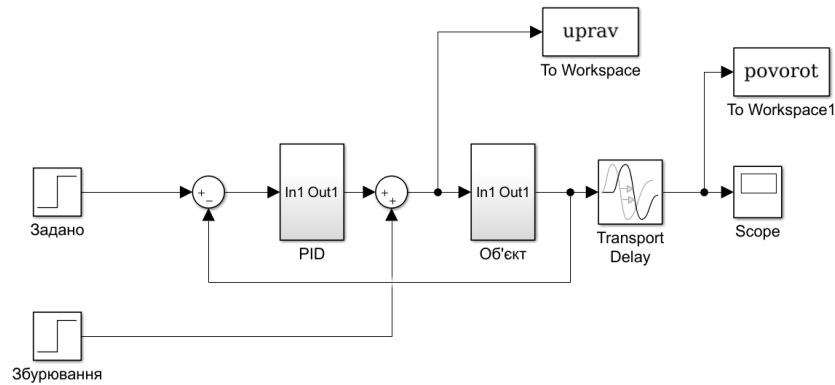


Рис. 3.5.

Зберегти отриману модель під іменем **LabRab3**, розширення файлу **.slx**. Виконайте моделювання.

15. Перейти в командне вікно *Matlab* і створити нове вікно для графіка, в якому буде побудовано дві криві на різних осях

figure(1);

Розбити вікно на дві частини по вертикалі і зробити активним перший графік за допомогою команди **subplot**:

subplot(2,1,1);

Примітка. Перше число в команді **subplot** означає кількість осередків з графіками по вертикалі, друге - по горизонталі, третє - номер комірки, яку треба зробити активною.

Побудувати графік сигналу управління об'єктом:

plot(uprav(:,1));

Ввести заголовок графіка

title('Upravlenie');

Ввести назви осей координат

xlabel('Time, s');

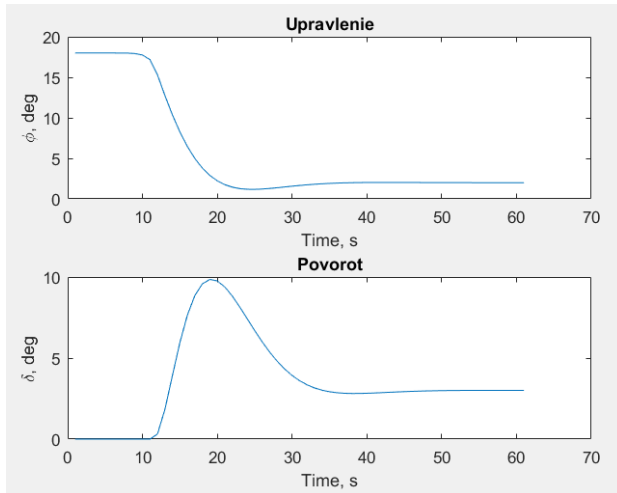
ylabel('\phi, deg');

Примітка. У середині апострофів для введення грецьких букв дозволяється використовувати команди LaTeX. Наприклад, `\phi` означає грецьку букву ϕ , `\delta` - букву δ .

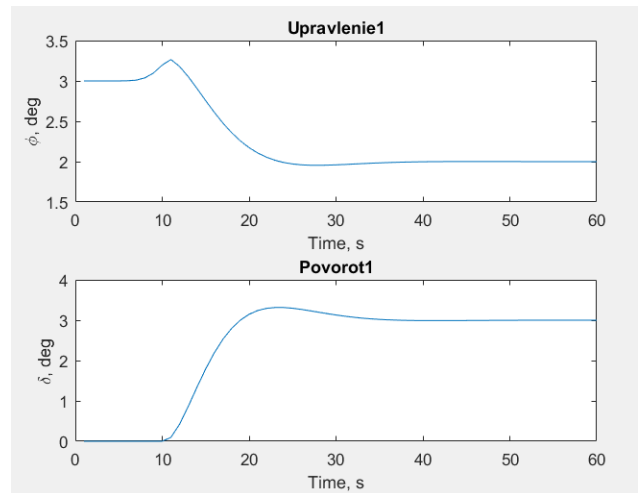
subplot(2,1,2);

plot(povorot(:,1));

```
title('Povorot');
xlabel('Time, s');
ylabel('\delta, deg')
```



а) зі збуренням в 15



б) без збурення

Рис. 3.6. Результати аналізу системи

16. Провести дослідження системи управління об'єктом без зовнішнього впливу.

17. Виконати оцінку якості перехідних процесів системи.

18. Сформулювати висновки

Контрольні запитання:

1. Як створити підсистему (Subsystem)?
2. Як скопіювати (продублювати) блок у вікні моделі?
3. Як змінити знаки арифметичних дій в суматорі?
4. Як ввести параметри блоку Transfer Fcn?
5. Як змінити час моделювання?
6. Які настройки є у блоків Transfer Fcn, PID Controller, Step, Sum, Scope?

КОМП'ЮТЕРНИЙ ПРАКТИКУМ 4

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ П-, І-, ПІ-, ПД- ТА ПІД-РЕГУЛЯТОРІВ ТИПОВИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ НА ЧАСОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ БТС

Мета роботи: набуття студентами навичок дослідження систем автоматизації з типовими регуляторами.

Методичні вказівки:

При підготовці до комп'ютерного практикуму слід вивчити наступні питання:

1. Особливості пакету Simulink
2. Вивчити інструкцію до комп'ютерного практикуму
3. Основи користування пакетом Simulink середовища MatLab
4. Основні методи моделювання лінійних систем в пакеті Simulink.
5. Вплив П-, І-, ПІ-, ПД-, та ПІД-регулятора на якісні показники процесу регулювання БТС.
6. Повторити межі стійкості системи

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ:

Комп'ютерний практикум виконується у середовищі системи **MatLab** з використанням пакету моделювання **Simulink**.

У роботі потрібно провести дослідження одноконтурної САР з П-, І-, ПІ-, ПД-, та ПІД-регуляторами. Її структурна схема показана на рис. 3.1. комп'ютерного практикуму 3.

Перехідний процес може бути розбіжним (рис. 4.1, а), збіжним (рис. 4.1, б), або відповідати знаходженню системи на межі коливальної стійкості (рис. 4.1, в).

Задача полягає у тому, щоб знайти (для кожного встановленого значення сталої часу об'єкта керування) величину коефіцієнта передачі підсилювача, яка б відповідала характеру перехідного процесу, зображеному на рис. 4.1, в.

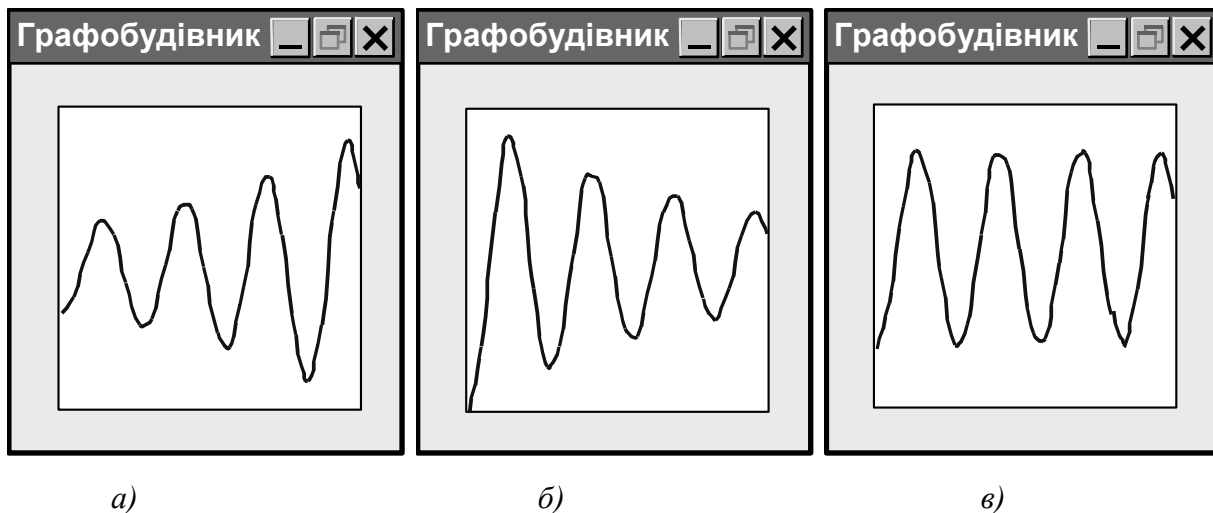


Рис. 4.1. Перехідні процеси системи керування

Це здійснюється послідовною зміною у бік зменшення, якщо перехідний процес є розбіжним, або збільшення, якщо процес носить збіжний характер, коефіцієнта передачі підсилювача до того моменту, коли перехідний процес не буде наближатися до незатухаючого. Величина збільшення (зменшення) коефіцієнта передачі підсилювача залежить від того, в якій мірі графік перехідної характеристики відрізняється від незатухаючих коливань: чим менше він від неї відрізняється, тим на меншу величину треба змінювати коефіцієнт передачі підсилювача. Значення сталої часу об'єкта керування та коефіцієнта передачі підсилювача, які відповідають знаходженню системи керування на межі коливальної стійкості, треба занести в таблицю.

	K_p	K_i	K_d
П-регулятор			
I-регулятор			
ПІ-регулятор			
ПД-регулятор			
ПІД-регулятор			

Вихідні дані для виконання роботи.

Встановити параметри об'єкта керування та регулятора за номером варіанту у відповідності до таблиці 3.1 Комп'ютерного практикуму 3.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРАКТИКУМУ

1. Відкрити структурну модель **lab3_Var**(номер бригади або варіанта).**mdl** системи автоматизації виконану в відповідно «Комп'ютерного практикуму 3».
(рис. 4.2)

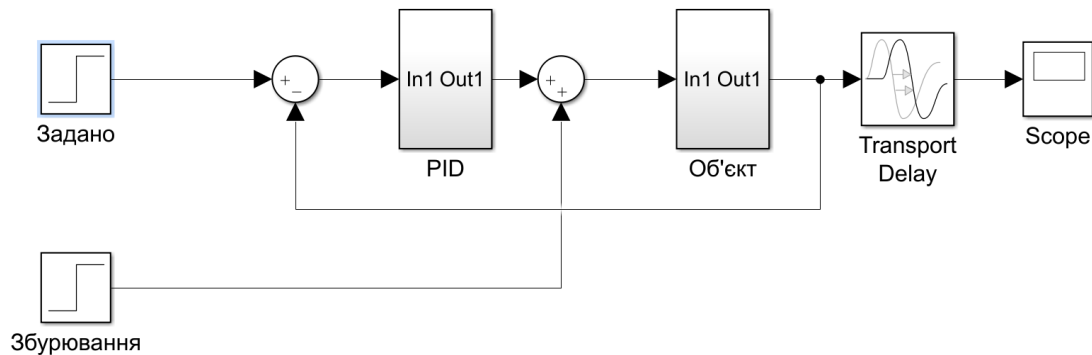


Рис. 4.2. Реалізація одноконтурної САР в пакеті SIMULINK

2. Відкрити схему ПД-регулятора та встановить перед регуляторами блоки Manual switch (рис. 4.3).

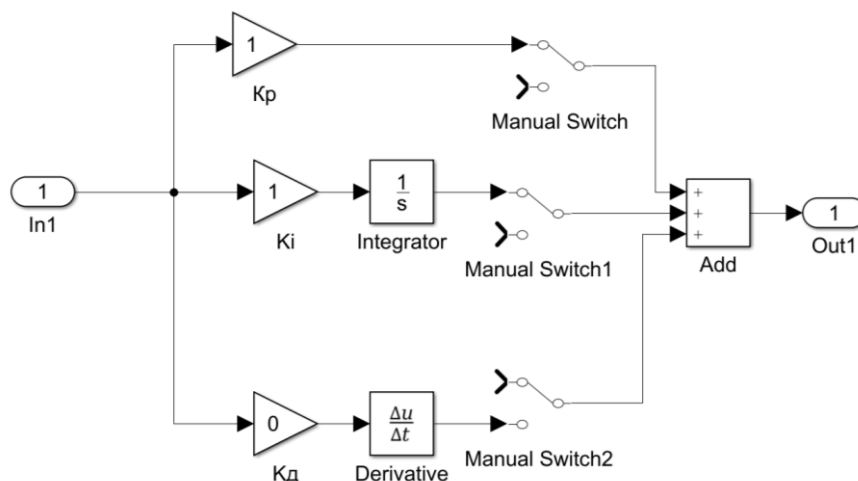


Рис. 4.3. Структура ПД-регулятора

3. Підберіть параметри настройки регулятора, що забезпечують стійкість замкнутої системи регулювання. Настройки регуляторів (K_p , K_i , K_d) встановлюють при редагуванні блоків Підсилення в блоці PID.


4. Проведіть дослідження САР з П-, І-, ПІ-, ПД-, та ПІД – регуляторами, використовуючи блоки Manual switch.

5. Побудуйте графіки перехідних процесів при відпрацюванні «без збурення», «зі збуренням» та «зміни завдання при збуренні» із заданими значеннями комп'ютерного практикуму 3.

6. Збережіть модель у своїй папці під ім'ям **lab4_Var**(номер бригади або

варіанта).mdl

7. Встановіть час моделювання від 100 до 500 секунд (задається викладачем).

8. Виконати моделювання натиснувши на кнопку . Перехідний процес в САР при зміні завдань спостерігається в Scope.

9. Перетягніть блок PID Controller з Simulink Library Browser у вікні модель. Проведіть заміну PID розроблений в п. 1-3. Збережіть модель у своїй папці під ім'ям **lab4_2_Var**(номер бригади або варіанта).mdl

В блоці PID знаходяться, Proportional (P) - коефіцієнт посилення пропорційної складової, Integral (I) - коефіцієнт посилення інтегральною складовою, Derivative (D) - коефіцієнт посилення диференціальної складової. Спочатку параметри коефіцієнтів посилення встановлені за замовчуванням. Proportional (P) = 1, Integral (I) = 1, Derivative (D) = 0 (рис. 4.4) такі ж самі, як початкові параметри PI

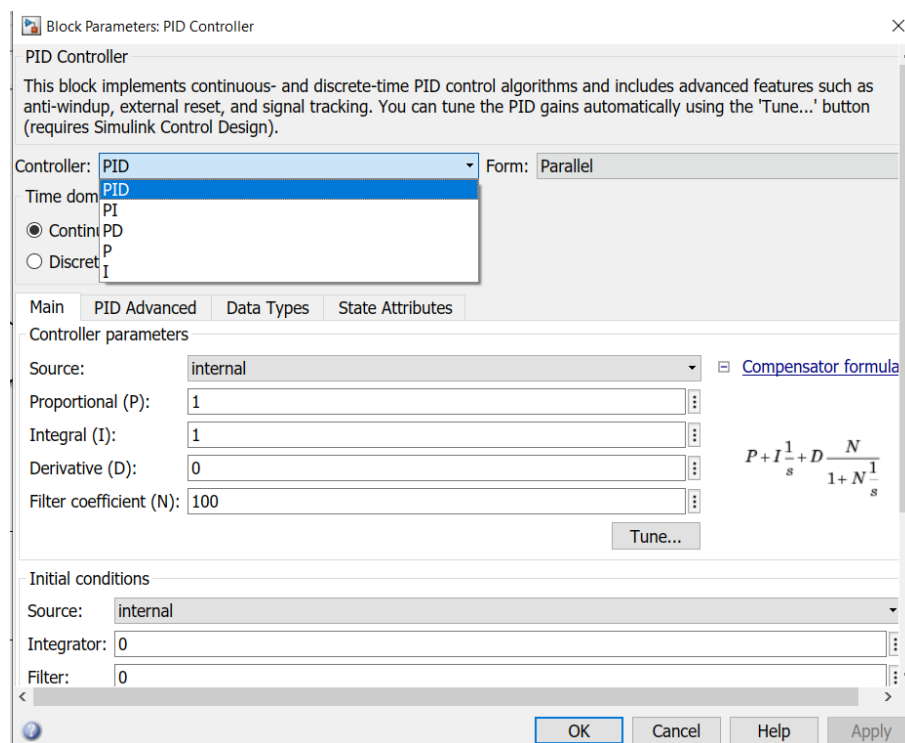


Рис. 4.4. PID Controller

10. Проведіть дослідження САР з П-, І-, ПІ-, ПД-, та ПІД – регуляторами, змінюючи в блоці PID Controller (рис. 4.4). Побудуйте графік перехідного процесу при відпрацюванні збурення при підібраних коефіцієнтів регулятора *Proportional (P)*, *Integral (I)*, *Derivative (D)* відповідно до п.3. Проаналізуйте

відповідність отриманого графіку з п.3 та 11.

11. Виконайте оцінку якості перехідних процесів системи

12. Сформулювати висновки

Контрольні запитання

1. Яка роль пропорційної, диференційної та інтегруючої складових ПД-регулятора?
2. Які послідовні корегуючі пристрої Ви знаєте?
3. Які показники якості перехідного процесу Ви знаєте?
4. Приведіть визначення різних зворотних зв'язків (гнучкі, жорсткі, додатні, від'ємні, місцеві, головні, одиничні)
5. Які типові з'єднання ви знаєте?

КОМП'ЮТЕРНИЙ ПРАКТИКУМ 5

ФУНКЦІОНАЛЬНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ПЕРЕХІДНОЇ ФУНКЦІЇ БТС В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB

Мета роботи: вивчення прямих та непрямих показників, які використовуються для оцінки якості перехідних процесів.

Методичні вказівки:

При підготовці до комп'ютерного практикуму слід вивчити наступні питання:

1. Вивчити інструкцію до комп'ютерного практикуму
2. Основні команди середовища MatLab
3. Повторити основні характеристики оцінки якості перехідних процесів: перехідна характеристика, імпульсно-перехідна характеристика, комплексна частотна характеристика (КЧХ), амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) та фазово-частотну характеристику (ФЧХ).

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ:

Комп'ютерний практикум виконується у середовищі системи *MatLab*.

1. Теоретичні відомості.

Моделювання біологічних ланок БТС за допомогою методів функціональної ідентифікації часто призводить до передавальних функцій, які визначають опис поведінки системи у вигляді диференціальних рівнянь високого порядку.

Це обумовлено складною динамікою процесів, що відбуваються в біологічних системах, пов'язаних зі структурною і функціональною різноманітністю компонентів системи, що беруть участь у формуванні механізмів її поведінки. Зокрема, для фізіологічних систем організму людини характерним є одночасна робота декількох груп біологічних регуляторів, що мають різну швидкодію і неоднакове число ступенів свободи.

Наприклад, регуляція артеріального тиску крові знаходиться під впливом вегетативної нервової системи і ендокрінногуморальних факторів. У подібних випадках для моделювання системи зручно скористатися методом простору станів, що дозволяє уявити лінійне диференціальне рівняння високого порядку,

що описує динаміку системи, у вигляді системи диференціальних рівнянь першого порядку відносно деяких штучно введених перемінних, які називаються змінними стану, за допомогою яких можна охарактеризувати стан системи.

Частотна характеристика об'єкта може бути визначена в результаті реєстрації реакції об'єкта на синусоїдальний вхідний сигнал при зміні його частоти або шляхом обробки по Фур'є реакції системи на вхідні впливу у вигляді імпульсного тест стимулу. Існує ряд методів для визначення передатної функції по відомій частотній характеристиці. Найбільш простим і наочним методом є графоаналітичний метод ідентифікації Боде.

Метод заснований на представленні потрібної передатної функції у вигляді добутку передавальних функцій елементарних ланок, що мають відомі частотні характеристики, апроксимуючі частотну характеристику досліджуваного об'єкта.

Передаточна функція стаціонарної лінійної системи може бути записана у вигляді:

$$W(s) = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_m s^m + a_{m-1} s^{m-1} + \dots + a_1 s + a_0}, \quad (5.1)$$

За передатної функції можна побудувати модель у формі «нулі-полюса». Нулями називаються корені чисельника, полюсами - коріння знаменника.

Прямі оцінки характеризують тривалість та коливання перехідних процесів (рис. 5.1)

Перехідна функція $\mathbf{h(t)}$ – це реакція системи на одиничний ступінчастий вхідний сигнал $\mathbf{1(t)}$, тобто перехідний процес на виході $\mathbf{x_2(t)}$ при стрибку $\mathbf{1(t)}$ на вхіді $\mathbf{x_1(t)}$ при нульових початкових умовах.

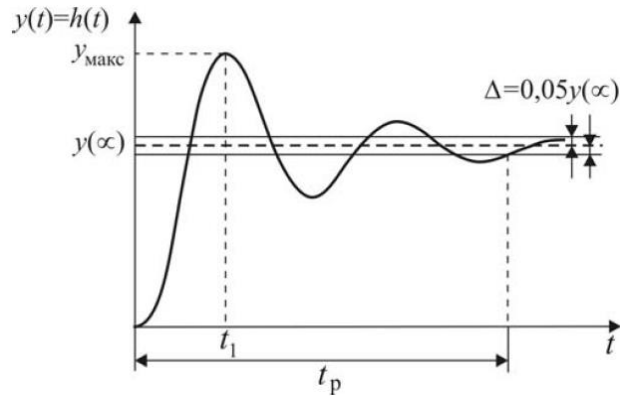


Рис. 5.1 Перехідна функція системи

Для оцінки тривалості перехідних процесів застосовують наступні показники: час першого максимуму t_1 ; час регулювання t_p (інтервал часу від моменту докладання зовнішнього впливу до моменту, після якого відхилення не перевищують заданої величини $\Delta=0,05y(\infty)$).

Імпульсна перехідна функція – це реакція системи на одиничний вхідний імпульс, тобто дельту-функцію $\delta(t)$, при нульових початкових умовах.

Зв'язок між перехідною та імпульсною виражається співвідношенням:

$$\frac{dh(t)}{dt} = w(t)$$

Імпульсна перехідна функція визначається як зворотне перетворення Лапласа від передаточної функції $W(s)$:

$$w(t) = L^{-1}[W(s)]$$

Кореневі оцінки визначаються по розташуванню полюсів (коренів характеристичного рівняння) системи на комплексній площині. До основних кореневих оцінок відносяться ступінь стійкості η та ступінь коливальності μ (рис. 5.2):

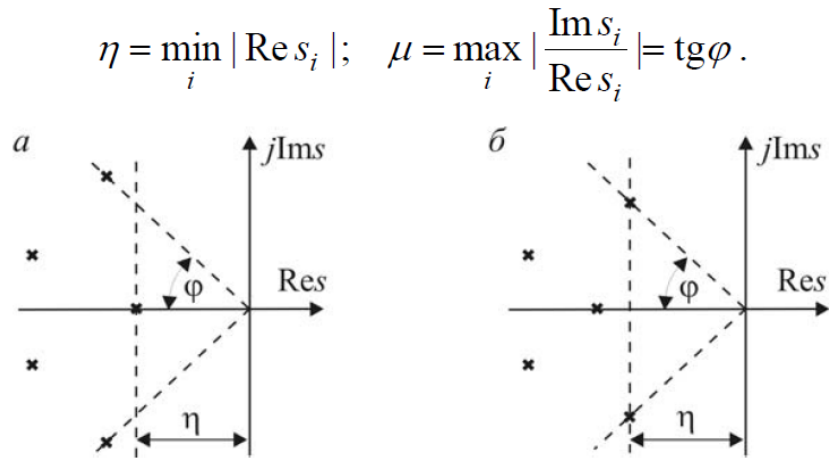


Рис. 5.2. Визначення ступені стійкості та коливальності

Частотні оцінки визначаються по *частотним характеристикам* – це реакція системи на вхідний синусоїдальний сигнал з одиничною амплітудою при зміні кутової частоти від нуля до нескінченості. Кутова частота вимірюється в рад/сек.

Амплітудно-фазова частотна характеристика (АФЧХ) – це комплексне число $\mathbf{W}(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega) = \mathbf{W}(s)|_{s=j\omega}$, модуль якого дорівнює відношенню амплітуди вихідного сигналу до амплітуди вхідного сигналу $|\mathbf{W}(j\omega)| = A(\omega)$, а аргумент – зсуву фаз вихідного сигналу по відношенню до вхідного сигналу $\arg \mathbf{W}(j\omega) = \varphi(\omega)$ при зміні частоти від нуля до нескінченості. *Графічно АФЧХ* – це геометричне місце кінців обчислених векторів амплітуд на комплексній площині при зміні частоти від нуля до нескінченості (рис. 5.3, а). Довжина вектора відповідає зміні амплітуди вихідного сигналу, а кут між віссю абсцис та вектором – зсув фази вихідного сигналу по відношенню до вхідного сигналу.

Амплітудна частотна характеристика (АЧХ) показує залежність змін амплітуди при зміні частоти

Логарифмічна амплітудна частотна характеристика (ЛАЧХ) – це залежність змін значень амплітуди в вигляді $Lm(\omega) = 20 \lg |\mathbf{W}(j\omega)| = 20 \lg A(\omega)$ від зміни логарифма частоти. Величина $Lm(\omega)$ вимірюється в децибелах (1 дБ відповідає зміні амплітуди в $10^{1/20} = 1,122$ рази, 20 дБ – відповідає зміні амплітуди в 10 разів).

Фазова частотна характеристика (ФЧХ) показує зсув фази вихідного сигналу при зміні частоти. Фаза вимірюється в градусах.

Логарифмічна фазова частотна характеристика (ЛФЧХ) – це залежність зсуву фази вихідного сигналу від зміни логарифма частоти.

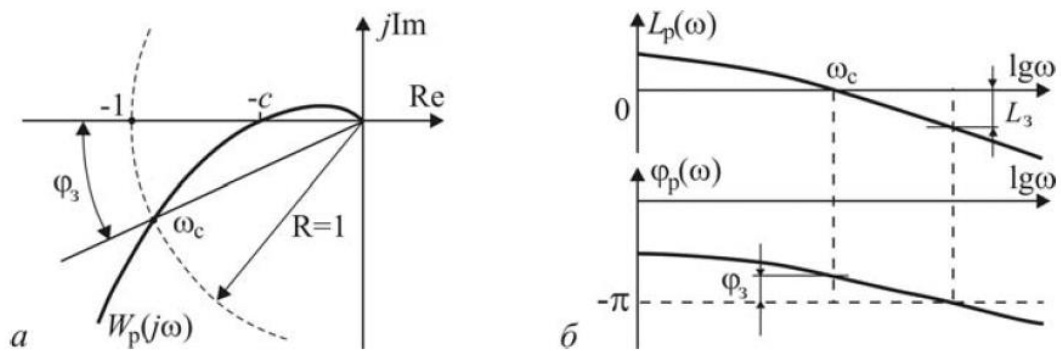


Рис. 5.3 Визначення частоти зрізу ω та запасу стійкості:

а – використання АФЧХ; б – використання АЧХ та ФЧХ

Інтегральні оцінки відносяться до непрямих оцінках якості перехідних процесів, представляють певний інтеграл виду:

$$J = \int_0^{\infty} \varphi(t) F[y_n(t)] dt$$

де $\varphi(t)$ – заздалегідь задана функція часу;

$y_n(t)$ – складова перехідного процесу, що задовольняє умові: $\lim_{t \rightarrow \infty} y_n(t) = 0$;

F – функція, як така, що $F(0)=0$.

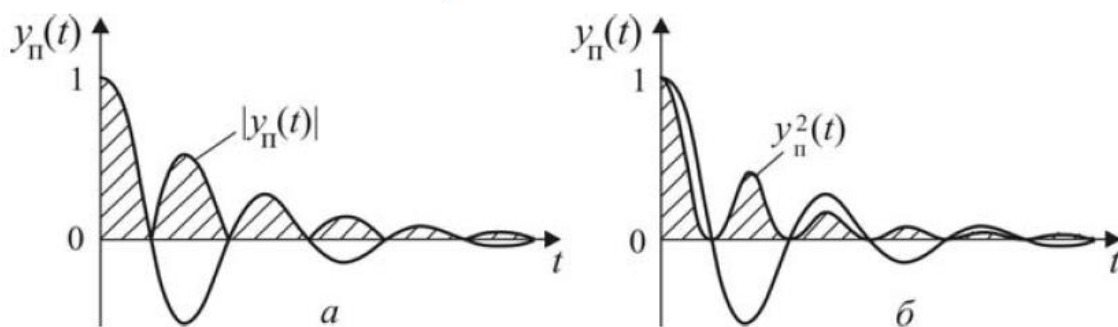


Рис. 5.4 Інтегральні оцінки

Вибір змінних стану при моделюванні системи залежить від функціонального класу досліджуваних моделей. При моделюванні фізіологічних систем організму, що є біологічними ланками терапевтичних БТС, модель, що описує зв'язок параметрів лікувального впливу і діагностичних показників пацієнта, можна віднести до класу моделей об'єктів

управління. Тоді вектор стану моделі можна сформувати з внутрішніх параметрів фізіологічної системи, що характеризують біофізичні механізми процесів лікувального впливу. Це дозволяє отримати адекватний опис процесів в біологічній ланці з точки зору аналізу алгоритмів управління, формування ефективних параметрів впливу, вибору структури технічних ланок БТС та їх характеристик

Опис моделі в просторі станів дається у формі рівнянь «вхід - стан - вихід»:

$$\begin{cases} \dot{Z} = AZ + BX \\ Y = CZ + DX \end{cases} \quad (5.2)$$

де X - вектор вхідних впливів;

Y - вектор вихідних реакцій;

Z - вектор стану;

A, B, C, D - матриці коефіцієнтів.

Перше рівняння системи (5.2) диференціальне, воно визначає стан системи, тобто задає її динамічні властивості. Друге рівняння - алгебраїчне, визначає вихідну реакцію системи через її поточний стан. Компоненти вектора стану - змінні стану визначаються на виходах інтеграторів схеми моделі, відповідної рівнянням (5.2).

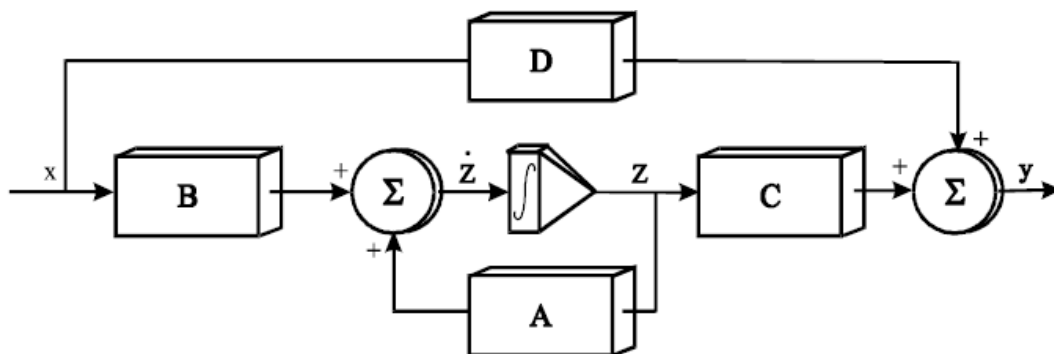


Рис. 5.5 Блок-схема моделі, що відповідає рівнянь «вхід - стан - вихід»

2. Аналіз передаточної функції в середовищі MatLab.

Для побудови передаточної функції використовується функція **tf**.

Наприклад необхідно сформувати передаточну функцію (5.4):

$$F(s) = \frac{s + 2}{3s^3 + 4s^2 + 5s + 3} \quad (5.4)$$

В даному випадку вектори коефіцієнтів чисельника і знаменника передаточної функції мають вигляд: $A = [1 \ 2]$, $B = [3 \ 4 \ 5 \ 3]$.

В підвіконні *Command Windows* вводимо:

```
clear all
```

```
clc
```

```
A = [1 2];
```

```
B = [3 4 5 3];
```

```
sys=tf(A,B)
```

Після натискання клавіші <ENTER> в пам'яті створюється об'єкт класу **tf**, що описує передаточну функцію, і на екрані з'явиться функція у вигляді:

Transfer function:

$$s + 2$$

$$3s^3 + 4s^2 + 5s + 3$$

Для визначення нулів і полюсів передаточної функції $F(s)$ використовуються відповідно команди **zero** і **pole**:

```
zero(sys)
```

Результат

```
ans =
```

$$-2$$

```
pole(sys)
```

Результат

```
ans =
```

$$-0.2639 + 1.0825i$$

$$-0.2639 - 1.0825i$$

$$-0.8055 + 0.0000i$$

Для виведення нулів і полюсів графічно, використовують команду **pzmap**:

```
pzmap(sys)
```

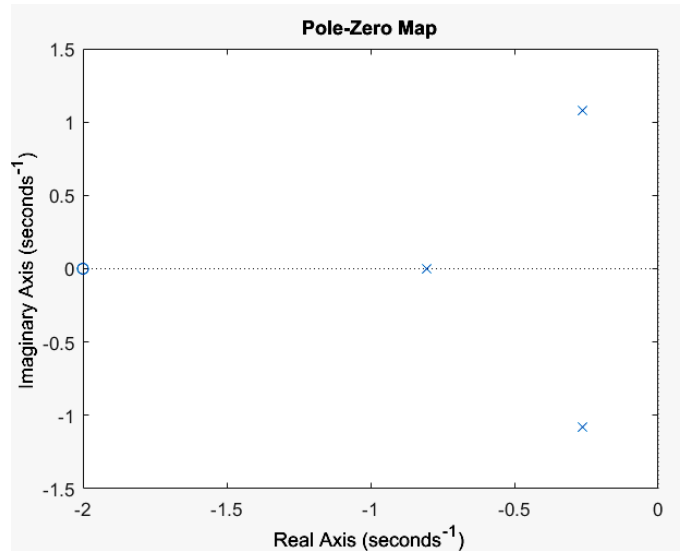


Рис. 5.6 Розташування коренів характеристичного поліному на комплексній площині

Нулями називаються корені чисельника, полюсами - коріння знаменника. Ця функція має один нуль в точці $s = -2$ і три полюси в точках $s = -0.8055 + 0.0000i$ та $s = -0.2639 \pm i$.

Для перетворення передаточної функції $F(s)$ в модель в просторі станів використовується команда

f_sys = ss(sys)

Результат:

a =

-1.3333 -1.6667 -1.0000 1.0000

1.0000 0 0 0

0 1.0000 0 0

0 -0.6667 -1.3333 0

b =

0

0

0

1

c =

0 0.3333 0.6667 0

d =

0

Це означає, що матриці моделі мають вигляд

$$A = \begin{bmatrix} -1.333 & -1.6667 & -1.0 & 1.0 \\ 1.000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.6667 & -1.3333 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad C = [0 \quad 0.3333 \quad 0.6667 \quad 0],$$

D=0

Побудувати відповідні тимчасові характеристики можна за допомогою команд:

- перехідна - за допомогою функції step (рис. 5.7):

step(sys); grid (grid – відображення сітки графіка)

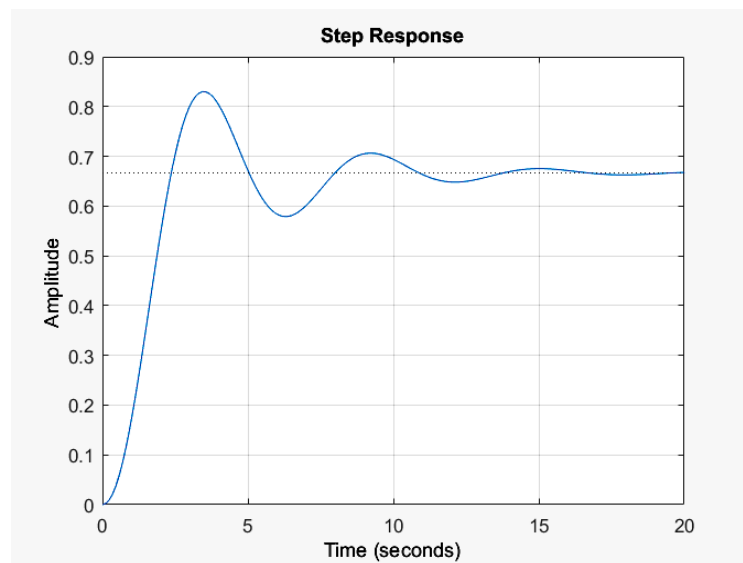


Рис. 5.7 Перехідна характеристика

За графіком перехідного процесу видно, що він є коливальним і система переходить в сталий стан.

За рис. 5.7 видно, що час перехідного процесу дорівнює 18 с, що не задовольняє технічним завданням.

- імпульсна (вагова) – за допомогою функції `impulse` (рис. 5.8):

`impulse(sys); grid`

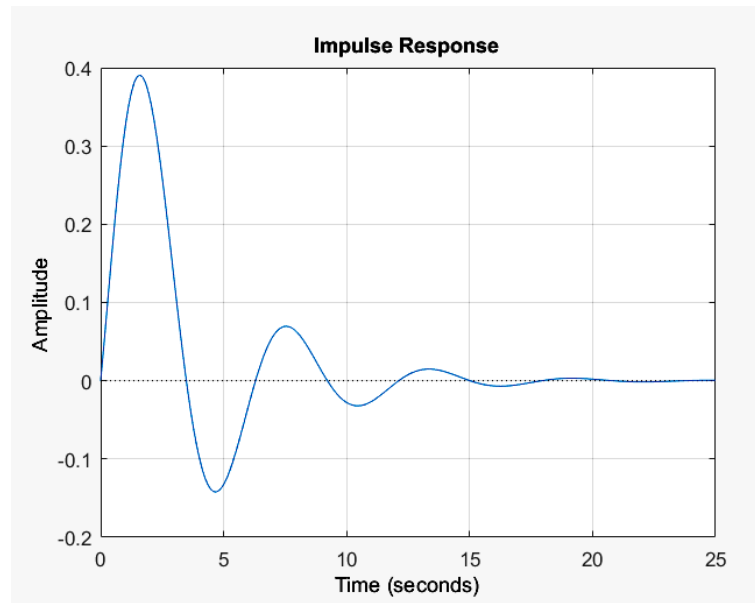


Рис. 5.8 Імпульсна перехідна характеристика

- логарифмічних частотних характеристик (діаграми Бодє) – АЧХ та ФЧХ (рис. 5.9):

`bode(sys); grid`

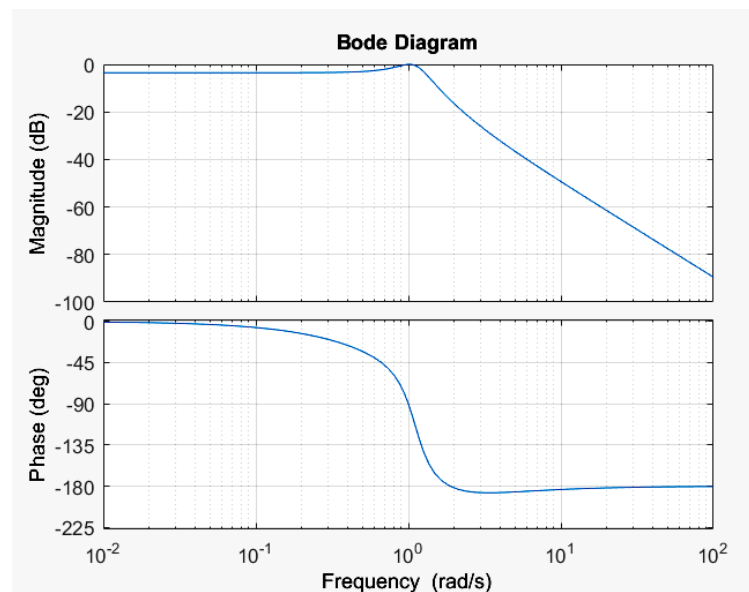


Рис. 5.9 АЧХ та ФЧХ

Проаналізувавши рисунок 5.8, можна зробити висновок, що дана система завжди стійка, тому що фаза не перетинає - 180 град. Для підвищення швидкодії і зменшення статичної помилки необхідно ввести коригувальну ланку.

- частотного годографа Найквіста (рис. 5.10):

nyquist(sys); grid

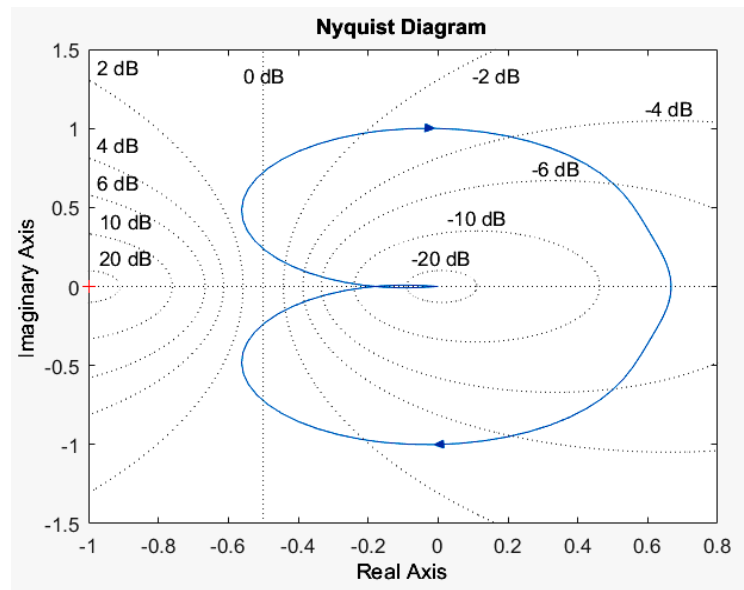


Рис. 5.10 Діаграма Найквіста

На діаграмі Найквіста, яка, не охоплює точку $(-1, j0)$ комплексної площини. Це дозволяє говорити про стійкість замкнутої САР без знаходження коренів характеристичного рівняння

Також всі ці характеристики можна отримати за допомогою пакету Simulink. Для цього створіть структурну схему, наведену на рис. 5.11. Задайте значення її параметрів. Виконайте моделювання.

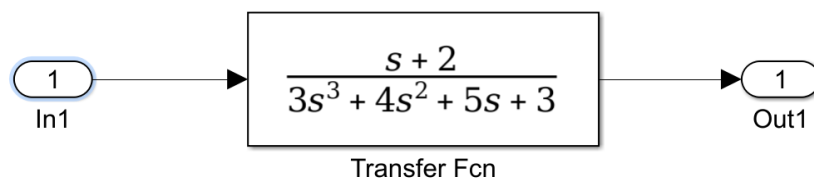


Рис. 5.11 Структурна схема

Збережіть файл **untitled.mdl**. Переходимо до пакету MatLab в Command Windows. Для отримання опису в просторі станів використовують команду **linmod**.

clear all

clc

[A,B,C,D]=linmod('untitled')

sys=ss(A,B,C,D)

step(sys); grid

impulse (sys); grid

bode(sys); grid

nyquist(sys); grid

3. Вихідні дані для виконання роботи.

Таблиця 5.1

№	Вид передаточної функції	№	коефіцієнти поліномів						
			b ₀	b ₁	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄
1	$H(s) = \frac{b_1 s + b_0}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0}$	1.	3	0	0	1	2	3	4
		2.	0	4	1	0	3	2	1
		3.	-2	0	3	5	1	0	1
		4.	0	-2	3	-4	5	3	0
		5.	1	-1	-2	2	0	4	2
			b ₀	b ₁	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄
2	$H(s) = \frac{b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0}$	6.	0	-3	2	8	2	3	6
		7.	8	0	-3	-4	-5	-4	-1
		8.	-4	4	-2	5	5	0	1
		9.	6	-6	-7	0	-4	-3	-1
		10.	2	-1	-3	-1	0	-6	-2
3	$H(s) = \frac{b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0}$	11.	0	2	4	-3	7	-8	1
		12.	-5	0	3	-6	-2	-1	-6
		13.	-7	1	2	0	5	2	7
		14.	-5	4	-4	1	0	6	3
		15.	2	-1	-1	4	3	0	8

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРАКТИКУМУ

1. Відкрити програму MatLab2017a.
2. Виконати основні характеристики передаточної функції відповідно до варіанту студента за таблицею 5.1. в пакеті MatLab в Command Windows та за допомогою пакету Simulink.
3. Виконати оцінку якості перехідних процесів системи
4. Зробити висновки

Контрольні запитання.

1. Які Ви знаєте способи оцінки якості перехідних процесів?
2. Які команди використовуються для визначення нулів і полюсів передаточної функції?
3. Яку команду потрібно задати для лінеалізації системи?
4. Як знайти визначення нулів і полюсів передаточної функції?

КОМП'ЮТЕРНИЙ ПРАКТИКУМ 6

ЧИСЕЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ЕЛЕМЕНТІВ БІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Мета роботи: набуття студентами навичок чисельного аналізу моделей елементів біотехнічних систем.

Методичні вказівки:

При підготовці до комп'ютерного практикуму слід вивчити наступні питання:

1. Особливості програми MatLab
2. Вивчити інструкцію до комп'ютерного практикуму
3. Основні команди середовища MatLab

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ:

Комп'ютерний практикум виконується у середовищі системи *MatLab*.

1. Теоретичні відомості.

Для реалізації чисельних методів розв'язання систем диференціальних рівнянь є бібліотека різних методів, так званих вирішувачів (solver). У табл. 6.1 наведені основні вирішувачі, їх характеристики та в табл. 6.2 - області їх застосування.

Таблиця 6.1

Вирішувач	Характеристики
ode45	Однокрокові очевидні методи Рунге-Кутта 4-го і 5-го порядку. Це класичні методи, рекомендуються для початкової проби рішення. У багатьох випадках дають прийнятні (хороші) результати
ode23	Однокрокові очевидні методи Рунге-Кутта 2-го і 4-го порядку. При помірних вимогах до жорсткості систем однорідних диференціальних рівнянь і точності рішення цей метод може дати виграв в швидкості рішення
ode113	Багатокроковий метод Адамса-Мултона змінного порядку. Адаптивний метод, який може дати високу точність рішення
ode23tb	Неявний метод Рунге-Кутта на початку рішення і метод, який використовує формули зворотного диференціювання 2-го порядку в подальшому

Таблиця 6.1

Вирішувач	Тип задачі	Ступінь точності	Область застосування
ode45	нежорстка	середня	в більшості випадків
ode23	нежорстка	низька	при допустимості грубої похибки або при вирішенні помірно жорстких задач
ode113	нежорстка	від низької до високої	при високій точності рішення або при вирішенні складних в обчислювальному відношенні завдань
ode23tb	жорстка	низька	при рівняннях, заданих в неявній формі Коші

2. Побудова ідеального змішування.

Модель змішувального типу представлена на рисунку 6.1.

Об'єкт моделювання умовно представлений ємністю, в яку надходить два потоки з характеристиками витрати (G_1, G_2), складу (C_{A1}, C_{B1}). Вихідний потік відповідно має характеристики G_3, C_{A2}, C_{B2} (рис.6.2 б).

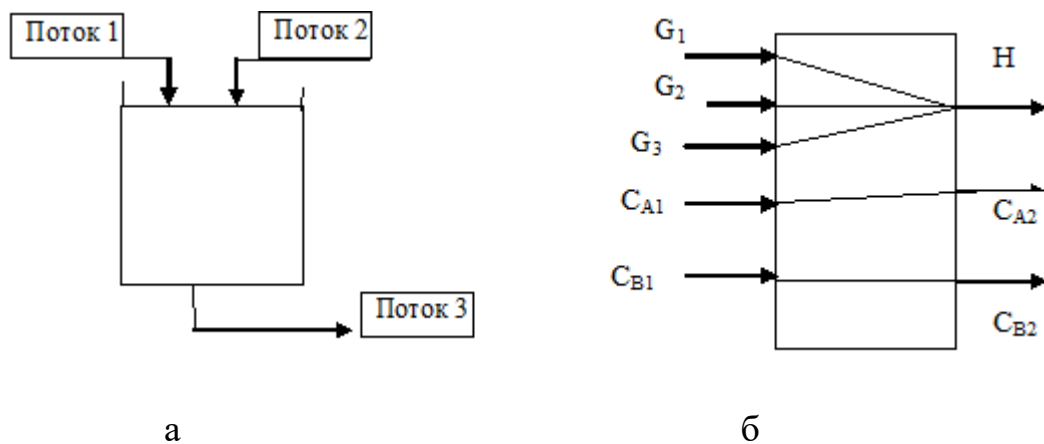


Рис. 6.1. Змішувальна модель:

а – схема процесу змішування;

б – складові вектора X і Y моделі

1. Для побудови загального матеріального балансу використовується рівняння математичної моделі виду (6.1):

$$\frac{dV}{dt} = G_1 + G_2 - G_3 \quad (6.1)$$

Для побудови рівняння матеріального балансу за окремим речовини використовують таку схему:

[швидкість накопичення речовини] =
= [кількість речовини надходить з потоком вхідним] –
– [кількість речовини, що видаляється з потоком вихідним].

Щоб описати процес ідеального змішування речовин для побудови стаціонарних моделей з зосередженими координатами будемо використовувати рівняння

$$\frac{dC}{dt} = \frac{\vartheta}{V} C_{\text{вх}} - C_{\text{вих}} \quad (6.2)$$

де ϑ – незмінна об'ємна швидкість потоку, $\vartheta = \text{const}$;

$C_{\text{вх}}, C_{\text{вих}}$ – концентрація речовин на вході та виході відповідно;

V – об'єм, $V = \text{const}$

Приймемо допущення про те, що в будь-який момент часу концентрація кожної речовини у вихідному потоці і всередині ємності вважаються однаковими ($C_{A2}(t_i) = C_A(t_i), C_{B2}(t_i) = C_B(t_i)$).

Кількість речовини в потоці визначаємо як $G \cdot C$, а швидкість накопичення речовини в ємності, що характеризує зміну кількості речовини в апараті за інтервал часу dt , визначаємо як $\frac{d VC}{dt}$. Тоді рівняння матеріального балансу по речовині A і B приймуть вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{d VC_{A2}}{dt} &= G_1 \cdot C_{A1} - G_3 \cdot C_{A2} \\ \frac{d VC_{B2}}{dt} &= G_2 \cdot C_{B1} - G_3 \cdot C_{B2} \end{aligned} \quad (6.3)$$

Чисельний аналіз рівнянь змішувальної моделі (6.1) – (6.3) будемо виконувати за допомогою програмної системи *MatLab*. Для цього необхідно

вибрати один з вирішувачів в табл. 6.1 та перетворити рівняння моделі в форму Коші:

$$\frac{dY}{dt} = F(Y, t) . \quad (6.4)$$

Якщо $V = const$, то (6.1) перетвориться до виду

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= 0 \text{ або } G_3 = G_1 + G_2; \\ \frac{dC_{A1}}{dt} &= \frac{1}{V} G_1 \cdot C_{A1} - G_3 C_{A2} ; \\ \frac{dC_{B1}}{dt} &= \frac{1}{V} G_1 \cdot C_{B1} - G_3 C_{B2} . \end{aligned} \quad (6.5)$$

Вихідними даними для вирішення системи (6.5) є початкові умови $Y(t=0)$ і інтервал рішення $t_0 < t \leq t_{final}$.

Звернення до вирішувача має вигляд

$$[T, Y] = \text{solver}('F', [t_0 \ t_{final}], y_0). \quad (6.6)$$

У цій функції (6.6) крім початкових умов і інтервалу для зміни незалежного аргументу вказується ім'я ('F') так званого ODE-файлу, в якому описується права частина вихідної системи диференціальних рівнянь.

2. Для чисельного аналізу **повної змішувальної моделі** (6.1) введемо позначення:

$$\begin{aligned} y_1(t_i) &= S \cdot H(t_i) \cdot C_{A2}(t_i) ; \\ y_2(t_i) &= S \cdot H(t_i) \cdot C_{B2}(t_i) ; \\ y_3(t_i) &= S \cdot H(t_i) . \end{aligned} \quad (6.6)$$

Тоді система (6.1) набуде вигляду

$$\begin{aligned}\frac{dy_1}{dt} &= G_1 + G_2 - G_3; \\ \frac{d(y_2)}{dt} &= G_1 \cdot C_{A1} - G_3 \cdot C_{A2}; \\ \frac{d(y_3)}{dt} &= G_2 \cdot C_{B1} - G_3 \cdot C_{B2}; \\ C_{A2} \cdot t_i &= \frac{y_2 \cdot t_i}{y_1 \cdot t_i} \quad i \quad C_{B2} \cdot t_i = \frac{y_3 \cdot t_i}{y_1 \cdot t_i}.\end{aligned}\tag{6.7}$$

З урахуванням (6.7) вектор Y має три складові:

$$Y = y_1, y_2, y_3 \quad i \quad y_1 = V, \quad y_2 = C_{A2} \cdot y, \quad y_3 = C_{B2} \cdot y\tag{6.8}$$

Для визначення концентрацій змішуваної речовини необхідний перерахунок масивів y (і, 2) і y (і, 3) по співвідношенням, що одержуються з (6.8):

$$C_{A2} \cdot t_i = \frac{y_2 \cdot t_i}{y_i \cdot t_i}, \quad C_{B2} \cdot t_i = \frac{y_3 \cdot t_i}{y_i \cdot t_i}\tag{6.9}$$

3. Процес газообміну в дихальній системі описує процеси зміни концентрації кисню і вуглекислого газу в альвеолярному і видихуваному потоках повітря, в артеріальній і венозній крові. Зазвичай процеси обміну киснем і вуглекислого газу розглядаються незалежно один від одного. У всіх моделях ці процеси описуються подібними рівняннями. Тому досить повне уявлення про газообмін в легенях можна отримати, розглянувши запропоновану Grodins в 1954 р модель системи обміну вуглекислого газу між легенями, кровоносною системою і тканинами (рис. 6.2)

Приймаються наступні допущення:

- легені є вентиляований безперервним потоком повітря резервуар постійного об'єму з нульовим мертвим простором;
- транспортними затримками при перенесенні крові можна нехтувати;
- артеріальна і венозна кров описується одною й тою ж кривою поглинання вуглекислоти;
- парціальний тиск вуглекислого газу в альвеолярному повітрі, що видихається, дорівнює напрузі вуглекислого газу в артеріальній крові, а напруга

вуглекислого газу у венозній крові рівна напрузі вуглекислого газу в тканинах.

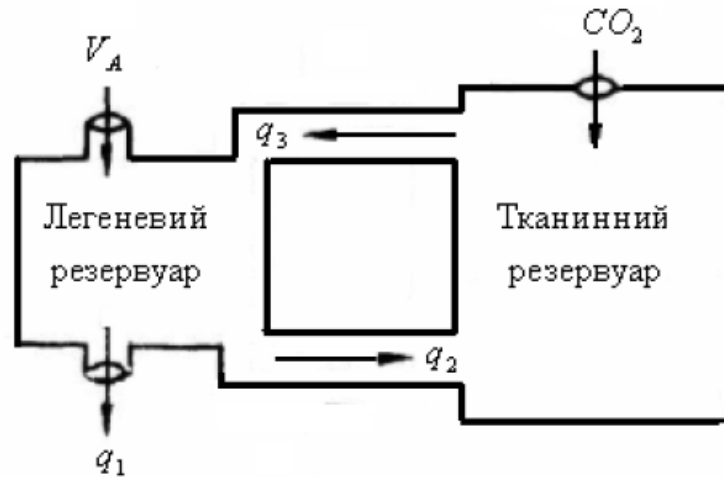


Рис.6.2. Схема моделі газообміну в організмі

За аналогією з рівняннями змішувальної моделі (6.5) складаємо рівняння матеріального балансу по вуглекислому газу для легеневого і тканинного резервуарів. З огляду на, що V_A , $V_t = \text{const}$ отримуємо

$$\begin{aligned}\frac{d(V_A C_A)}{dt} &= G_1 C_1 + Q_1 C_t - Q_2 F(C_A) - G_1 C_A; \\ \frac{d(V_t C_t)}{dt} &= W + Q_2 F(C_A) - Q_1 C_t.\end{aligned}\quad (6.10)$$

Кількість вуглекислого газу, що надходить в легені з повітрям і кров'ю, визначається величиною об'ємної швидкості повітря і крові, та концентрацією вуглекислого газу в відповідному потоці. Кількість вуглекислого газу, що переходить з легких в венозну кров, залежить від концентрації вуглекислого газу в альвеолярному повітрі:

$$q_2 = Q_2 \cdot F(C_A), \quad (6.11)$$

де $F(C_A)$ — функція, що характеризує залежність від концентрації величини поглинання CO_2 одиницею потоку крові. У загальному випадку це нелінійна функція, однак припустима її лінеаризація функцією виду:

$$F(C_A) = b_0 + b_1 C_A. \quad (6.12)$$

Рівняння (5.11) — (5.12) визначають спрощену математичну модель процесу газообміну в дихальній системі.

3. Вихідні дані

Таблиця 6.3 Чисельний аналіз рівнянь змішувальної моделі роботи.

№ варіанту	G1	G2	G3	CA1	CB1	V
1	1	3	2.5	10	9	16
2	3	5	4.5	8	12	20
3	2	6	3.5	4	14	12
4	4	4	5.5	7	10	17
5	3	2	1.5	10	7	15
6	3	4	4.5	6	12	14
7	1	5	3.5	6	10	12
8	2	6	2.5	12	11	15
9	4	1	1.5	8	7	1
10	5	2	3.5	10	10	20
11	3	4	5.5	8	7	18
12	1	2	3.5	7	9	13

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРАКТИКУМУ

Відкрити програму *MatLab2017a*. На панелі задач (рис. 6.3) відкрити “New Script” та створити *m*-файл для завдання функції та початкових даних (рис. 6.3).

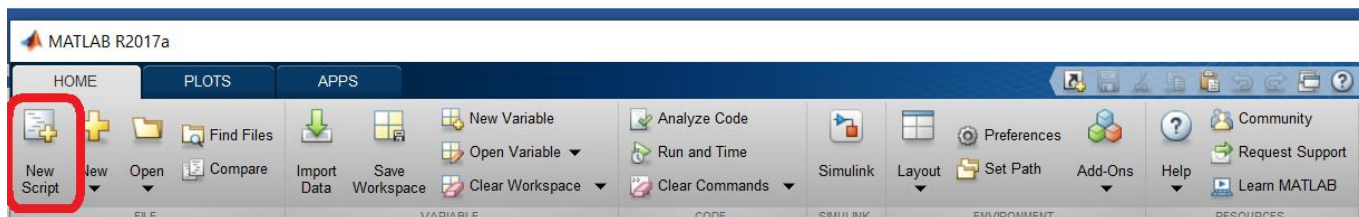


Рис. 6.3. Панель задач

1. Чисельний аналіз рівнянь змішувальної моделі

1.1. Написати програму для виконання правої частини рівняння (6.5):

```
function dydt = voda25 (t,y)
```

```
% змішувальна модель при постійному об'ємі
```

```
% початкові дані
```

```
G1=1;
```

```
G2=3;
```

```
CA1=15;
```

```
CB1=10;
```

```
W=1/V;
```

```
V=15;
```

```
G3= G1+ G2;
```

% Права частина системи диференціальних рівнянь у формі Коші

```
dydt = [W*(G1*CA1-G3*y(1));  
        W*(G2*CB1-G3*y(2))];
```

Зберегти під іменем **voda25.m**

1.2. Використовуючи командне вікно, отримуємо рішення (рис. 6.4).

```
[t,y]=ode45(@voda25,[0 4],[5 5]);
```

```
plot(t,y);
```

```
1 function dydt = voda25(t,y)  
2 -  
3 G1=1;  
4 G2=3;  
5 CA1=15;  
6 CB1=10;  
7 V=15;  
8 W=1/V;  
9 G3= G1+ G2;  
dydt = [W*(G1*CA1-G3*y(1)); W*(G2*CB1-G3*y(2))];  
  
Command Window  
  
>> [t,y]=ode45(@voda25,[0 4],[5 5]);  
plot(t,y);  
fx >>
```

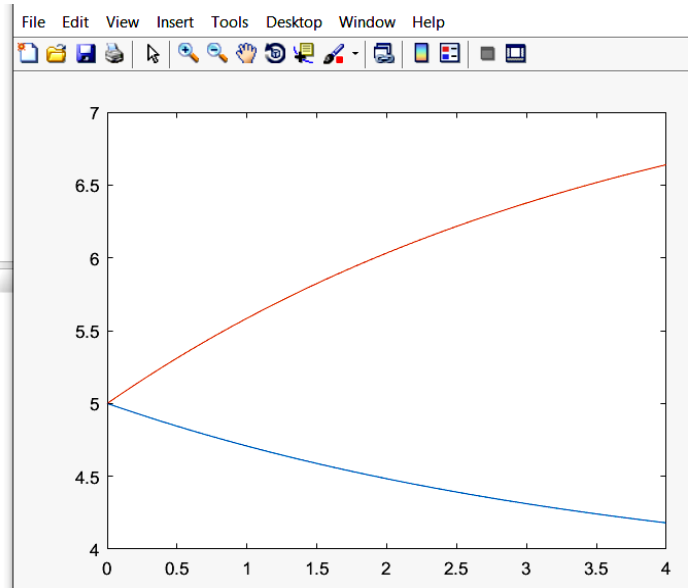


Рис. 6.4 Зміна концентрацій в змішувальній моделі при постійному об'ємі

Для доповнення графіків мітками (в ручному режимі) можна дописати (рис. 6.5):

```
hold on;
```

```
gtext('y1'),gtext('y2')
```

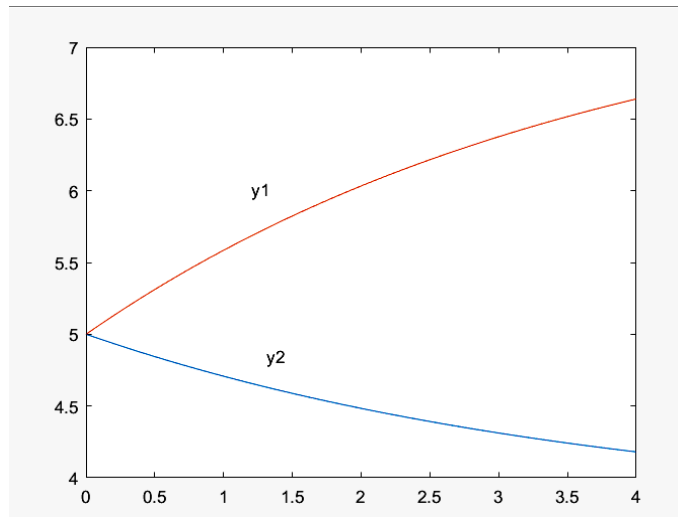


Рис. 6.5. Зміна концентрацій в змішувальній моделі при постійному об'ємі з мітками

2. Чисельний аналіз повної змішувальної моделі.

2.1. Створити *m*-файл для завдання функції та початкових даних для виконання рівнянь (6.7) та (6.8).

2.1.1. При статичній рівновазі повинен виконуватись закон збереження маси, тобто:

$$I_{\text{вх}} = I_{\text{вих}}$$

де $I_{\text{вх}}, I_{\text{вих}}$ — кількість речовини в вхідному та вихідному потоках.

Тому записуємо програму з такими показниками CA1=20 та CB1=15:

```
function dydt = voda 26(t,y)
```

```
G1=1.5;
```

```
G2=2;
```

```
G3=3.5;
```

```
% Значення концентрації при статичній рівновазі CA1 = 20 і CB1 = 15
```

```
CA1=20;
```

```
CB1=15;
```

```
% Права частина системи диференціальних рівнянь у формі Коші
```

```
dydt = [(G1+G2-G3);
```

```
    (G1*CA1-G3*(y(2)/y(1)));
```

```
    (G2*CB1-G3*(y(3)/y(1)))];
```

Зберегти функцію під іменем **voda26.m**.

2.1.2. При імітації збурень по концентрації вхідних потоків змінюємо показники $CA1=40$ та $CB1=45$

function dydt = voda 27(t,y)

G1=1.5;

G2=2;

G3=3.5;

% Імітація збурень по концентрації вхідних потоків $CA1 = 40$ і $CB1 = 45$

CA1=40;

CB1=45;

% Права частина системи диференціальних рівнянь у формі Коші

dydt = [(G1+G2-G3);

(G1*CA1-G3*(y(2)/y(1)));

(G2*CB1-G3*(y(3)/y(1)))];

Зберегти функцію під іменем **voda27.m**.

2.2. Для визначення концентрацій змішуваної речовини для виконання рівняння (6.8) виконуємо:

% Змішувач

% Розрахунок концентрацій

% Завдання початкових умов y_1, y_2, y_3

A=[3, 25.71429, 25.71429];

% Звернення до вирішувача, інтервал часу від 0 до 5, початкових умов = A

[t,y]=ode45(@voda26,[0 5],[A]);

% Визначення числа кроків по осі часу

K=size(t);

N=K(1,1);

% Розрахунок масиву концентрацій по (6.9)

for i=1:N

CA2(i,1)=y(i,2)/y(i,1),

CB2(i,1)=y(i,3)/y(i,1),

```
end;
```

```
% Вивід графіків у (t) і CA2 (t) CB2 (t)
```

```
plot (t,y);
```

```
figure;
```

```
plot(t,CA2,t,CB2);
```

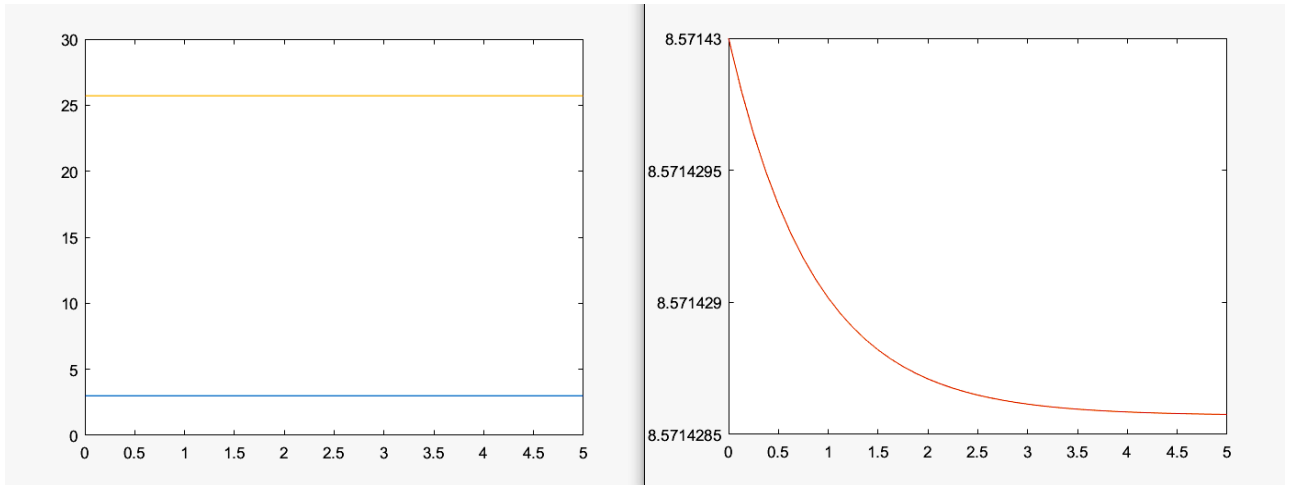


Рис. 6.6. Зміна концентрацій повної змішувальної моделі при статичній рівновазі

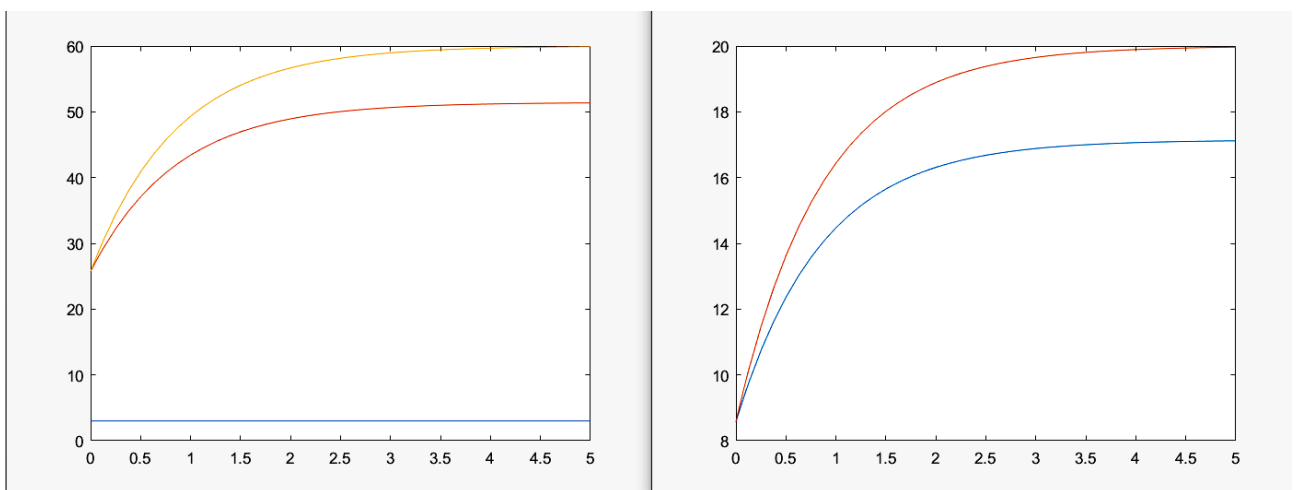


Рис. 6.7. Зміна концентрацій повної змішувальної моделі при імітації збурень по концентрації вхідних потоків

2.3. Розрахунок чисельного аналізу за своїм варіантом по таблиці 6.3.

3. Процес газообміну в дихальній системі людини

Розглянуті приклади реалізації змішувача моделі дозволяють побудувати програму чисельного аналізу моделі процесу газообміну в дихальній системі.

Максимальна об'ємна швидкість вдиху G_1 становить:

- у чоловіків - $5 \div 8$ л/с
- у жінок - $4 \div 6$ л/с.

Концентрація вуглекислого газу в сухому повітрі становить $0,025 \div 0,045\%$ ($250 \div 450$ ppm). Норма рівня CO_2 в приміщенні перевищує вуличні значення приблизно в 1,5 рази, тобто до $0,06\%$ (600 ppm)

Дихальним об'ємом називається кількість повітря, що проходить через легені при одному вдиху (видиху). У спокої він дорівнює приблизно 350-800 мл, при м'язовій роботі може досягати 1-2 л і більше

3.1. Створити *m*-файл для завдання функції та початкових даних:

function dydt = voda28(t,y)

% Задаються значення вихідних даних

% G_1 (повітряний потік при вдиху і видиху)

$G_1=6$;

% Q_1, Q_2 потоки венозної і артеріальної крові

$Q_1=-2$;

$Q_2=3.5$;

% W швидкість утворення вуглекислоти в процесі обміну

$W=150$;

% C_1 - концентрація вуглекислоти у вдихуваному повітрі

$C_1=0.05$;

% V_a, V_t – відповідно обсяги альвеолярного і тканинного резервуарів

$V_a=350$;

$V_t=230$;

% b_0, b_1 - коефіцієнти лінеарізующей функції

$b_0=5$;

$b_1=0.02$;

$dydt = [(G_1 * C_1 + Q_1 * y(2) - Q_2 * (b_0 + b_1 * y(1)) - G_1 * y(1)) / V_a$;

$(W + Q_2 * (b_0 + b_1 * y(1)) - Q_1 * y(2)) / V_t]$;

Зберегти функцію під іменем **voda28.m**.

3.2. Для визначення концентрацій змішуваної речовини для виконання рівняння (6.8) виконуємо:

```
[[t,y]=ode45(@voda28,[0 10],[5 5]);  
plot(t,y);
```

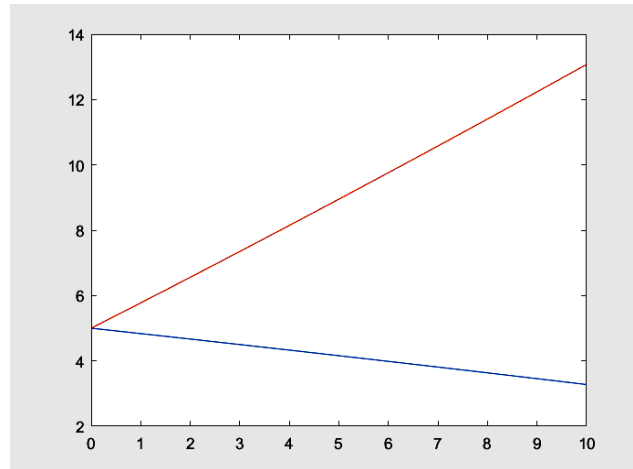


Рис. 6.8 Лінеаризація концентрації кисню і вуглекислого газу в альвеолярному і видихуваному потоках повітря, в артеріальній і венозній крові.

3.3. Виконайте розрахунок процесу газообміну в дихальній системі людини за параметрами заданими викладачем.

4. Сформулювати висновки

Контрольні запитання

1. Чим файли-функції відрізняються від файлів-сценаріїв?
2. Для чого використовуються вирішувачі (solver`s)?
3. Яка команда виводить графічні результати розрахунків?
4. Як створити *m*-файли-функції та – файли-сценарії?

КОМП'ЮТЕРНИЙ ПРАКТИКУМ 7

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПІД-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ АРТЕРІАЛЬНОГО ТИСКУ ЛЮДИНИ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB

Мета роботи: вивчення методу налаштування ПД-регулятора перехідного процесу з використанням можливостей бібліотеки Simulink на прикладі системи стабілізації тиску крові.

Методичні вказівки:

При підготовці до комп'ютерного практикуму слід вивчити наступні питання:

1. Вивчити інструкцію до комп'ютерного практикуму
2. Основні команди середовища MatLab
3. Повторити визначення в середовищі MatLab показників якості перехідних процесів.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ:

Комп'ютерний практикум виконується у середовищі системи *MatLab*.

1. Теоретичні відомості.

Система медико-біологічної спрямованості, призначена для підтримки нормального функціонування органів і систем організму, на прикладі медичного апарату, що дозволяє стабілізувати артеріальний тиск (АТ) за рахунок використання спеціального препарату. Схема, що демонструє роботу БТС контролю артеріального тиску, показана на рис. 7.1.

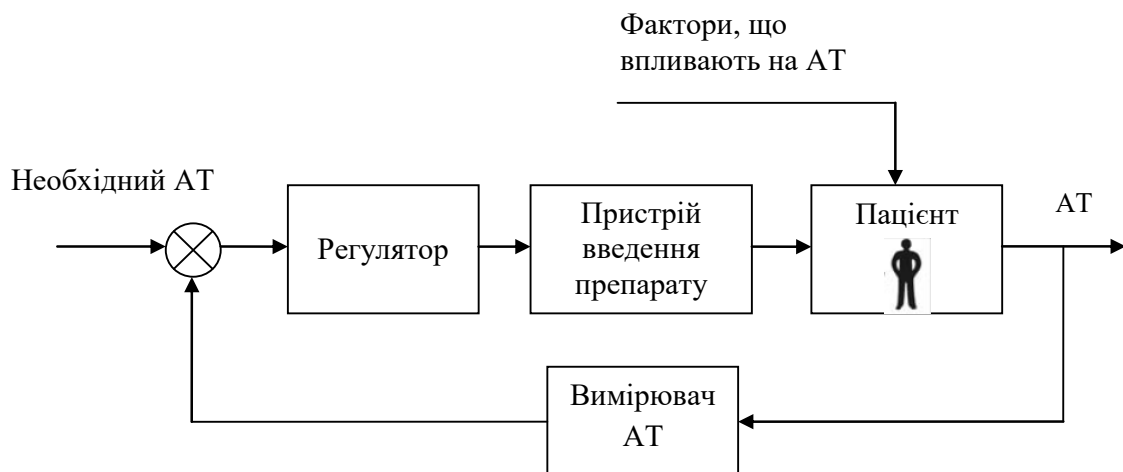


Рис. 7.1. Схема, пояснююча принцип дії БТС контролю артеріального тиску

Регульованою величиною є артеріальний тиск пацієнта, яку необхідно

знизити до певного рівня. Система призначена саме для зниження артеріального тиску. Регулятор порівнює поточне значення артеріального тиску з необхідним і формує сигнал для керуючого пристрою (пристрій введення препарату). Збуреннями є всі фактори, що впливають на артеріальний тиск пацієнта: проведення оперативного втручання, реакція на препарати, стрес і т.д. Артеріальний тиск залежить від хвилинного серцевого викиду та судинного опору. Найбільш поширеним способом зниження артеріального тиску є використання судинорозширювальних препаратів, наприклад нітропрусид натрію. Даний препарат знижує тонус як артерій, так і вен за рахунок прямої міотропної дії. Розширення периферичних артеріальних судин зменшує постнавантаження, знижується напруга лівого шлуночка, і як наслідок, знижується артеріальний тиск.

Існує два способи введення препарату: внутрішньовенна інфузія необхідної кількості препарату і безперервне введення препарату в кров. Перший метод дозволяє швидко досягти бажаного ефекту, але не може застосовуватися регулярно, тому що можливе отруєння. Другий метод дозволяє протягом тривалого часу підтримувати АТ на необхідному рівні не викликаючи отруєння. Для другого методу необхідно підбирати дозу і швидкість введення препарату. Для аналітичного опису дії препарату на артеріальний тиск при введенні препарату другим методом була розроблена математична модель. Вона описує залежність АТ пацієнта від швидкості вливання препарату:

$$\frac{\Delta P_d(s)}{I(s)} = \frac{K \cdot e^{-\tau_i s} \cdot (1 + \alpha \cdot e^{-\tau_c s})}{Ts + 1}, \quad (7.1)$$

де $P_d(s)$ – зміна кров'яного тиску пацієнта, [мм.рт.ст.]; $I(s)$ – швидкість вливання нітропрісиду натрію [мл/ч]; K – чутливість пацієнта до препарату $\left[\frac{\text{мм.рт.ст}}{\text{мл/ч}} \right]$; α – безрозмірна величина, що характеризує рециркуляцію; τ_i – початкова транспортна затримка, [с]; τ_c – затримка рециркуляції транспорту, [с]; T – час затримки, [с].

Основними труднощами при розробці регуляторів кров'яного тиску є значне відхилення величин, що визначають залежність тиску від швидкості

вливання, для кожного пацієнта. Виходячи з чутливості до препарату, виділяють три групи пацієнтів: чутливі, нечутливі і номінальні. У табл. 7.1 наведені типові значення, визначені для трьох груп пацієнтів.

Таблиця 7.1 Параметри пацієнтів

Параметр	Чутливий	Зразковий	Нечутливий
$K(1+\alpha)$	-9	-1	-0,25
α	0	0,3	0,4
τ_i	20	30	65
τ_c	30	50	70
T	28	40	55

З точки зору стану пацієнта, до системи управління ставляться такі вимоги, як час регулювання не більше 800 с.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРАКТИКУМУ

1. Відкрити програму MatLab2017a.
2. Побудувати модель САР системи згідно схемі, що зображена на рис. 7.2. Параметри, що характеризують пацієнта, а також параметри блоків Step, Step1, Gain4, Transport Delay задаються викладачем.

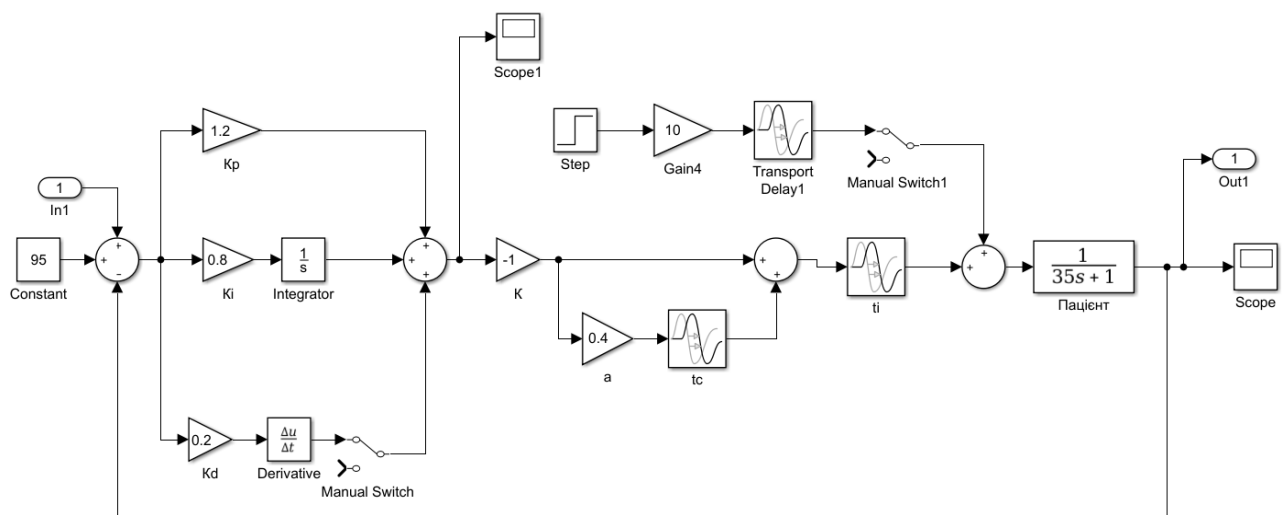


Рис. 7.2. Схема моделювання

3. Зберегти під іменем **lab_7_Var**(номер бригади або варіанта).**mdl**.
4. Провести оптимізацію ПІД-регулятора.
5. Виконати аналіз якості перехідних процесів системи з різними коефіцієнтами ПІД-регулятора – K_p , K_i , K_d .

6. Сформулювати висновки

Контрольні запитання

1. Які параметри визначають залежність АТ від швидкості інфузії нітропрусиду натрію?
2. Які вимоги пред'являються до перехідної функції системи стабілізації артеріального тиску з використанням нітропрусиду натрію?
3. Як впливає на запас стійкості по амплітуді введення в регулятор диференціюючої ланки?
4. Якою командою знайти полюси (коренів характеристичного рівняння) системи на комплексній площині?

КОМП'ЮТЕРНИЙ ПРАКТИКУМ 8

ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ АНАЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ (МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООБМІННОЇ АПАРАТУРИ)

Мета роботи: ознайомлення з методами моделювання процесу теплообміну через стінку і з розрахунком теплообмінних апаратів за допомогою програми Matlab.

Методичні вказівки:

При підготовці до комп'ютерного практикуму слід вивчити наступні питання:

1. Вивчити інструкцію до комп'ютерного практикуму
2. Основні команди середовища MatLab
3. Повторити типи теплообмінників

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ:

Комп'ютерний практикум виконується у середовищі системи *MatLab*.

1. Теоретичні відомості.

При розгляді процесу передачі тепла від одного теплоносія до іншого через стінку можна виділити кілька елементарних етапів: перехід тепла від гарячого теплоносія до більш холодної стінці, поглинання тепла матеріалом стінки і її нагрівання, розподіл тепла за обсягом стінки, перехід тепла від стінки до холодного теплоносія.

Інтенсивність переходу тепла від одного теплоносія (наприклад, гарячого потоку рідини або газу) до іншого (стінки) залежить від різниці температур між ними, а також від теплового опору. В розрахунках зазвичай включають не опір, а зворотний величину K - коефіцієнт тепловіддачі, q - тепловий потік (ккал / год або Вт) через поверхню площею 1 м^2 при різниці температур (температурному напорі) $1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Повний тепловий потік q визначається добутком коефіцієнта тепловіддачі K , площі поверхні F і температурного напору ΔT :

$$q = KF\Delta T. \quad (8.1)$$

Рівняння (8.1) може бути застосовано, як до нагрівання стінки від гарячої рідини, так і навпаки, до нагрівання холодної рідини гарячої стінкою; при

цьому ΔT матиме різні знаки.

Коефіцієнти тепловіддачі залежать від багатьох параметрів, але найбільш сильно - від швидкості потоку, характеру набігання рідини на стінку, щільності та теплопровідності рідини. При виконанні точних розрахунків залежність коефіцієнта тепловіддачі від параметрів потоку слід враховувати. Проте для більшості інженерних розрахунків теплообмінної апаратури і реакторів достатні спрощені уявлення.

Відповідно для трубчастих теплообмінників, що працюють за принципом витіснення рівняння динаміки в статичному режимі при накопиченні тепла в системі дорівнює нулю, буде виглядати наступним чином:

$$\frac{\partial T}{\partial l} = \frac{KF(T_{\text{вн}} - T)}{u\rho c_p V}, \quad (8.2)$$

де $T_{\text{вн}}$ - температура зовнішнього теплоносія;

u - швидкість руху потоку;

c_p - питома теплоємність;

ρ - щільність;

V - об'єм.

Приклад 8.1. Теплообмінник являє собою тонкостінний змійовик, по якому в режимі ідеального витіснення рухається охолоджуваний потік рідини. Змійовик занурений у воду, безупинно яка через посудину, так що температура охолоджуючої води $T_{\text{вн}}$ практично постійна і дорівнює 10°C у всьому об'ємі.

Потрібно визначити температуру на виході потоку, що йде по змійовику зі швидкістю $u = 4 \text{ м/с}$, якщо температура його на вході дорівнює $T_0 = 95^\circ\text{C}$, довжина трубки змійовика $L = 2 \text{ м}$, його перетин $S = 10^{-4} \text{ м}^2$, коефіцієнт теплопередачі $K = 1,16 \cdot 10^4 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$. Теплоємність охолоджувальної рідини $c_p = 2,93 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$, її щільність $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$. Параметри вважати незалежними від температури; зміна обсягу не враховувати. Режим роботи вважати стаціонарним.

Температура охолоджуваного потоку T підпорядковується диференціальних рівнянь (8.2):

$$\frac{\partial T}{\partial l} = \frac{2K\pi r(T_{\text{вн}} - T)}{u\rho c_p S}, \quad (8.3)$$

де l - довжина,

r – радіус зміювика,

uS – об'ємна витрата потоку.

Обчислимо коефіцієнт рівняння:

$$\beta = \frac{2K\sqrt{\pi}}{u\rho c_p \sqrt{S}} = \frac{2 \cdot 1,16 \cdot 10^4 \cdot \sqrt{3,14}}{4 \cdot 900 \cdot 2,93 \cdot 10^3 \sqrt{10^{-4}}} = 0,39.$$

Тоді

$$\frac{\partial T}{\partial l} = 0,39(T_{\text{вн}} - T). \quad (8.4)$$

Рівняння (8.4) підлягає вирішенню в межах зміни незалежної змінної l від 0 до 2 м. Рішення представлено на рис. 8.1. Температура на виході потоку склала $T(L) = 47^\circ\text{C}$.

Для чисельного інтегрування рівняння (8.4) в MATLAB необхідно створити *m*-файл **func1_T.m** для обчислення правої частини диференціального рівняння (8.4). У *Command Windows* вирішити диференціальне рівняння з використанням функції Matlab **ode45**.

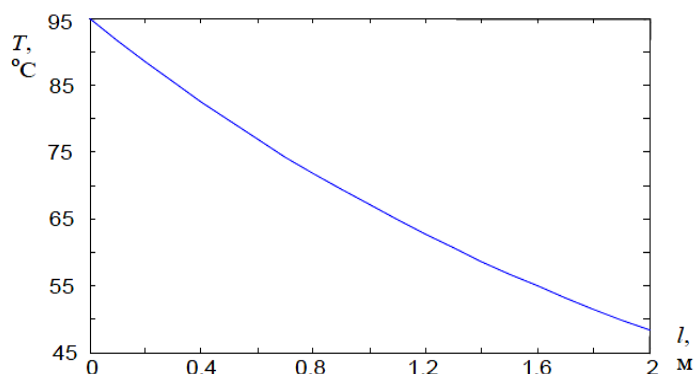


Рис. 8.1 Профіль температури по довжині теплообмінника

Файл **func1_T.m**:

% Функція правої частини диференціального рівняння

function dT = func1_T(l,T)

Tvn=10; % Температура зовнішнього теплоносія

dT = 0.39*(Tvn-T); % Рівняння правої частини диференціального рівняння

Команда в *Command Windows*

L=2; % Довжина трубки змішувика

T0=95; % Початкова умова диф. рівняння

[l,T] = ode45(@func1_T,[0 L],T0);

plot(l,T);

Приклад 8.2. Рідина охолоджується в теплообміннику типу «труба в трубі». Охолоджувана рідина та холодоагент рухаються паралельно (прямотоком). Потрібно визначити температури потоків на виході теплообмінника, якщо початкова температура охолоджувальної рідини дорівнює 170 °C, а холодоагенту 15 °C. Щільність охолоджувальної рідини і холодоагенту $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$. Діаметри труб теплообмінника: внутрішньої $D_1 = 0,1 \text{ м}$, зовнішньої (для холодоагенту) $D_2 = 0,3 \text{ м}$. Довжина теплообмінника $L = 1 \text{ м}$. Теплоємність рідини і холодоагенту $c_p = 3,35 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°C)}$. Об'ємний витрата охолоджувальної рідини $G_1 = 2,28 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$, холодоагенту $G_2 = 5,75 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$, коефіцієнт теплопередачі $K = 4900 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$. Температурний профіль по довжині для кожного з потоків визначається рішенням системи диференціальних рівнянь

$$\frac{\partial T_1}{\partial l} = \frac{K\pi D_1(T_2 - T_1)}{G_1\rho_1 c_{p1}}, \quad (8.5)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial l} = \frac{K\pi D_2(T_1 - T_2)}{G_2\rho_2 c_{p2}}, \quad (8.6)$$

де T_1 і T_2 - температури охолоджувальної і охолоджуючої рідини.

Після підстановки в рівняння (8.5) і (8.6) чисельних значень параметрів одержуємо наступну систему:

$$\frac{\partial T_1}{\partial l} = 2,239(T_2 - T_1), \quad (8.5)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial l} = 0,888(T_1 - T_2), \quad (8.6)$$

Графіки рішення системи рівнянь математичного опису статички теплообмінника представлені на рис. 8.2. На ньому зображені температурні профілі уздовж теплообмінника для обох теплоносіїв.

Можна бачити, що рушійна сила процесу сильно змінюється по довжині, тому ефективність використання різних ділянок теплообмінника не однакова. Температури теплоносіїв на виході теплообмінника рівні: $T_1(L) = 62,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_2(L) = 56,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для чисельного інтегрування рівнянь (8.5) та (8.6) в MATLAB необхідно створити *m*-файл **func2_T.m** для обчислення правої частини диференціальних рівнянь (8.5) та (8.6). У *Command Windows* вирішити диференціальне рівняння з використанням функції *Matlab* **ode45**.

Файл **func2_T.m**

% Функція правих частин диференціальних рівнянь

function dT = func2_T(l,T)

dT = zeros(2,1); % Створення вектора температур

dT(1)=2.239*(T(2)-T(1)); % Рівняння правій частині 1-го диференціального рівняння

dT(2)=0.888*(T(1)-T(2)); % Рівняння правій частині 2-го диференціального рівняння

Команда в *Command Windows*

L=1; % Довжина теплообмінника

T1_0=170; % Початкова умова для 1-го диф. рівняння

T2_0=15; % Початкова умова для 2-го диф. рівняння

[l,T] = ode45(@func2_T,[0 L],[T1_0 T2_0]);

plot(l,T(:,1),'r',l,T(:,2),'k');

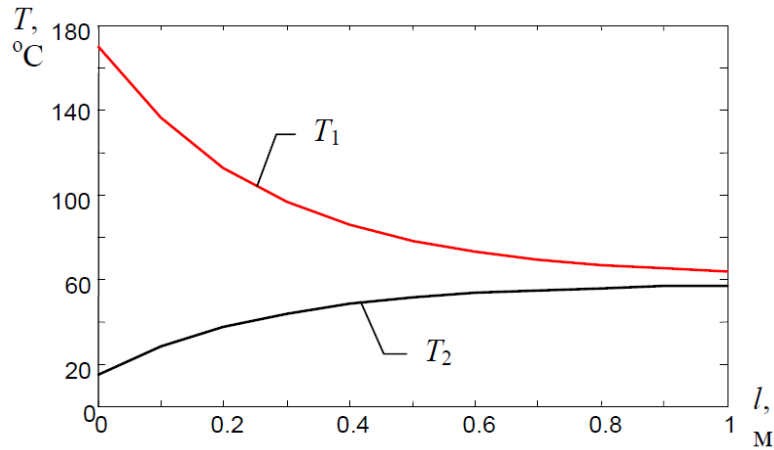


Рис. 8.2 Зміна температур теплоносіїв по довжині проточного теплообмінника

Приклад 8.3. Змодельувати статичний режим теплообмінника типу «труба в трубі», використовуючи дані, наведені в прикладі 8.2, для випадку протиточного теплообмінника. Прийняти повну довжину теплообмінника $L = 2,5$ м.

Теплові процеси в протиточному теплообміннику підкоряються тим самим закономірностям, що і в проточному. Тому математичний опис теплообмінника записується аналогічно, однак формально однотипні рівняння для обох теплоносіїв мають аргументи різного знака

$$\frac{\partial T_1}{\partial l} = 2,239(T_2 - T_1), \quad (8.5)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial(-l)} = 0,888(T_1 - T_2), \quad (8.7)$$

Спільне інтегрування рівнянь (8.5) і (8.7) можливо лише в одному напрямку: або при l , змінюваному від 0 до L , або в зворотному - від L до 0. Відомо лише, до якого значення в кінці рішення повинна підійти друга змінна.

Для вирішення завдання скористаємося останньою обставиною і спробуємо відшукати невідому початкову умову $T_2(0)$ з таким розрахунком, щоб умова, заданий для рішення (гранична умова), було виконано, тобто $T_2(L) = 15$ °C. Такі завдання при малому числі умов, що підлягають визначенню, звичайно вирішують методом проб і помилок.

Завданням пошуку початкової умови $T_2(0)$ є виконання граничної умови $T_2(L)$ при інтегруванні системи рівнянь (8.5) і (8.7).

Рисунок 8.3, а ілюструє процес пошуку невідомої початкової умови $T_2(0)$. Крива 1 відображає профіль температури T_2 , отриманий в припущенні, що холодоагент нагріється до 57°C . Крива 2 отримана при припущенні $T_2(0) = 65^\circ\text{C}$ та отримали $T_2(L) = 15^\circ\text{C}$ – вона не задовольняє умові. Криві 3 та 4 також не відповідають початковій умові (70 і 80°C). Тому беремо середнє значення 3 та 4 кривих $T_2(0) = 75^\circ\text{C}$.

На рисунку 8.3, б показаний результат виконання завдання. Вихідна температура охолоджуваного потоку $T_1(L)$ досягає 18°C .

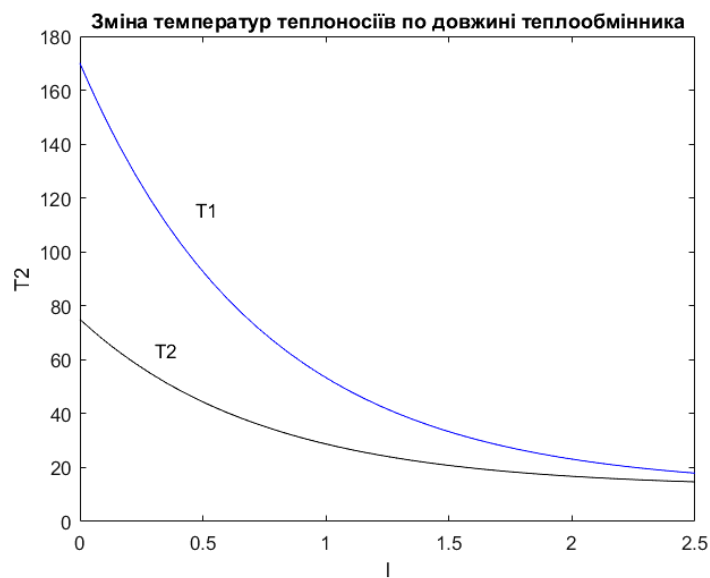
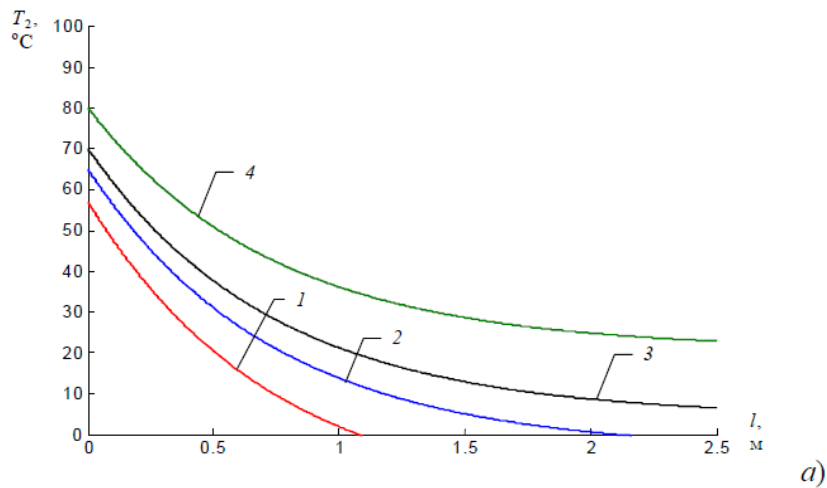


Рис. 8.3. Результати моделювання на ЕОМ протиточного теплообмінника:

а - серія кривих рішення системи рівнянь (8.5) і (8.7)

б - зміна температур теплоносіїв по довжині теплообмінника

Файл **func3_T.m**

% Функція правих частин диференціальних рівнянь

```
function dT = func3_T(l,T)
```

```
global b1 b2; % Опис глобальних змінних
```

```
dT = zeros(2,1); % Створення вектора вихідних координат
```

```
dT(1)=b1*(T(2)-T(1)); % Рівняння правій частині 1-го диференціального  
рівняння
```

```
dT(2)=-b2*(T(1)-T(2)); % Рівняння правій частині 2-го диференціального  
рівняння
```

Команда в *Command Windows*

```
global b1 b2; % Опис глобальних змінних
```

```
L=2.5; % Довжина теплообмінника
```

```
T1_0=170; % Початкова умова для 1-го диф. рівняння
```

```
T2_0=75; % Початкова умова для 2-го диф. рівняння
```

```
ro=900; % Щільність охолоджувальної рідини і холодоагенту
```

```
D1=0.1; % Діаметри внутрішньої труби теплообмінника
```

```
D2=0.3; % Діаметри зовнішньої труби теплообмінника
```

```
cp=3.35e3; % Теплоємність рідини і холодоагенту
```

```
G1=2.28e-4; % Об'ємна витрата охолоджувальної рідини
```

```
G2=5.75e-4; % Об'ємна витрата хладагента
```

```
K=4900; % Коефіцієнт теплопередачі
```

```
% Розрахунок коефіцієнтів моделі
```

```
b1=K*pi*D1/(ro*cp*G1);
```

```
b2=K*pi*D1/(ro*cp*G2);
```

```
[l,T] = ode45(@func3_T,[0 L],[T1_0 T2_0]);
```

```
plot(l,T(:,1),'b',l,T(:,2),'k');
```

```
title('Зміна температур теплоносіїв по довжині теплообмінника')
```

```
xlabel('l');ylabel('T2')
```

```
hold on;
```

```
gtext('T1'),gtext('T2')
```

2. Вихідні дані

Таблиця 8.1 Приклад 8.1

№	$T_{\text{вн}},$ $^{\circ}\text{C}$	$u,$ м/с	$T_0,$ $^{\circ}\text{C}$	$L,$ м	$S,$ м^2	$K,$ $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$	$c_p,$ $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$	$\rho,$ $\text{кг}/\text{м}^3$
1	15	5	90	2,5	$1,2 \cdot 10^{-3}$	1111	2990	915
2	24	6	180	3	$3,3 \cdot 10^{-3}$	5655	7080	800
3	15	4	150	4	$5,7 \cdot 10^{-3}$	4365	4130	612
4	18	8	120	5	$4,4 \cdot 10^{-3}$	5860	4980	200
5	21	10	85	1,5	$6,8 \cdot 10^{-3}$	3360	6085	720
6	10	5	200	3,5	$2,1 \cdot 10^{-3}$	2030	5040	362
7	8	12	185	2,5	$4,6 \cdot 10^{-3}$	3270	6222	525
8	15	6	165	6,5	$6,4 \cdot 10^{-3}$	6510	8060	400
9	22	7	170	4,5	$4,6 \cdot 10^{-3}$	9220	5040	500
10	14	10	120	5,5	$5,2 \cdot 10^{-3}$	1210	3355	600
11	20	8	195	5	$7,3 \cdot 10^{-3}$	7125	6777	700
12	16	9	205	3,5	$3,9 \cdot 10^{-3}$	2420	5060	900

Таблиця 8.2 Приклади 8.2-8.3

№	$T1(0)$	$T2(0)$	$\rho,$	D_1	D_2	L	c_p	$G1$	$G2$	K
1	170	18	915	0,15	0,37	1,2	3350	$2,22 \cdot 10^{-4}$	$6,1 \cdot 10^{-4}$	5000
2	220	15	600	0,20	0,42	1,0	3270	$2,08 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$	1570
3	195	20	220	0,31	0,50	2,0	4360	$3,66 \cdot 10^{-4}$	$5,4 \cdot 10^{-4}$	2022
4	260	10	525	0,18	0,29	3,0	1080	$4,05 \cdot 10^{-5}$	$6,4 \cdot 10^{-5}$	3450
5	280	12	480	0,22	0,52	1,8	3230	$2,60 \cdot 10^{-5}$	$4,9 \cdot 10^{-5}$	4140
6	155	8	950	0,27	0,46	2,5	3840	$2,45 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$	4820
7	200	15	865	0,33	0,62	1,5	2570	$3,26 \cdot 10^{-5}$	$5,5 \cdot 10^{-5}$	3000
8	225	13	600	0,14	0,29	2,2	3920	$5,10 \cdot 10^{-5}$	$6,4 \cdot 10^{-5}$	5500
9	180	22	400	0,16	0,53	2,8	3120	$2,89 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	3580
10	380	25	800	0,42	0,60	3,1	4160	$4,32 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$	2820
11	240	24	700	0,24	0,41	1,9	4350	$2,66 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	5650
12	180	11	500	0,35	0,55	1,4	2220	$3,22 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$	4440

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРАКТИКУМУ

1. Скласти математичний опис теплообмінних апаратів за своїм варіантом. Вихідні дані підставити з таблиць 8.1-8.2.
2. В залежності від варіанту змодельовати на ЕОМ статичний і (або) динамічний режими теплообмінника і визначити температурні залежності для всіх теплоносіїв.
3. Сформулювати висновки

Контрольні запитання

1. У чому відмінність об'єктів ідеального змішування і ідеального витіснення?
2. Що являє собою рівняння теплового балансу (в статиці і динаміці) для об'єктів ідеального змішування?
3. Які функції MATLAB використовуються для чисельного інтегрування звичайних диференціальних рівнянь?
4. Якою командою знайти полюси (коренів характеристичного рівняння) системи на комплексній площині?
5. Як визначається повний тепловий потік?

Список літератури

Основна

1. Мустецов Т.М. Теорія біотехнічних систем // Т.М. Мустецов, А.С. Нечипоренко Харків. :ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2015. – 186 с.
2. Ахутин В. М. Биотехнические системы. Теория и проектирование : учеб. пособ. / В. М. Ахутин, А. П. Немирко. – Л. : Ленинградский ун-т, 1981. – 220 с.
3. Филатова Н.Н. Моделирование биотехнических систем: учебное пособие/ Н.Н. Филатова. Тверь: ТГТУ, 2008. 134 с.
4. А.И. Скоринкин Биотехнические системы [Текст: электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие / А.И. Скоринкин. Казань: Казан. ун-т, 2015.– 85 http://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/22206/06_44_001047.pdf

Допоміжна

1. Біотехнічні системи медичного призначення : лабораторний практикум / С. М. Злепко, О. В. Белоусова, Д. Х. Штофель, І. С. Тимчик. – Луцьк: СПД Гадяк Жанна Володимирівна, 2011. – 88 с.
2. Гурко О.Г., Єрьоменко І.Ф. Аналіз та синтез систем автоматичного керування в MATLAB. Навчальний посібник / О.Г. Гурко, І.Ф. Єрьоменко. – Харків: ХНАДУ, 2012. - 286 с
https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/6988/mod_resource/content/2/analizvMatlab.pdf
3. Компьютерное моделирование биотехнологических процессов и систем: Учеб. пособие / Д.С. Дворецкий, С.И. Дворецкий, Е.И. Муратова, А.А. Ермаков. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. 80 с.
<http://window.edu.ru/resource/011/38011/files/tstu2005-058.pdf>
4. Моделирование в среде MATLAB-Simulink : метод. указания к лабораторным работам / сост.: А. И. Герасимов, В. В. Регеда, О. Н. Регеда. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2017. - 104 с.
5. Введение в MATLAB: Учеб. пособие/ Л. А. Мироновский, К. Ю. Петрова; ГУАП. – СПб., 2006. – 164 с.: ил.
6. Власов А.Ю. Анализ линейных фильтров в системе Matlab [Текст]/ А.Ю. Власов // Научный вестник МГТУ ГА. – 2007. – №126 – с. 49-52.

7. Моделирование систем : учебное пособие / И.А. Елизаров, Ю.Ф. Мартемьянов, А.Г. Схиртладзе, А.А. Третьяков. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 96 с. – 100 экз
8. Потемкин В.Г. MatLAB 5 для студентов: Справ. пособие. - М.: "ДИАЛОГ-МИФИ", 1998. - 314 с
9. Вадутов О.С. Теория автоматического управления. Лабораторный практикум: учебное пособие / О.С. Валунов, М.В. Тригуб; Томского политехнического университета, 2014. – 112 с.
10. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Теорія автоматичного керування" для студентів спеціальності 123 "Комп'ютерна інженерія" денної форми навчання / Укл. М.В. Єфименко, Н.В. Луценко. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. – 42 с.

ДОДАТОК

Приклад оформлення результатів комп'ютерного практикуму 2 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗАПІЗНЕННЯ РЕГУЛЯТОРА НА СТІЙКІСТЬ ТА ТОЧНІСТЬ БТС

Мета роботи: набуття студентами навичок дослідження систем автоматизації з чистим запізненням.

Методичні вказівки:

При підготовці до комп'ютерного практикуму слід вивчити наступні питання:

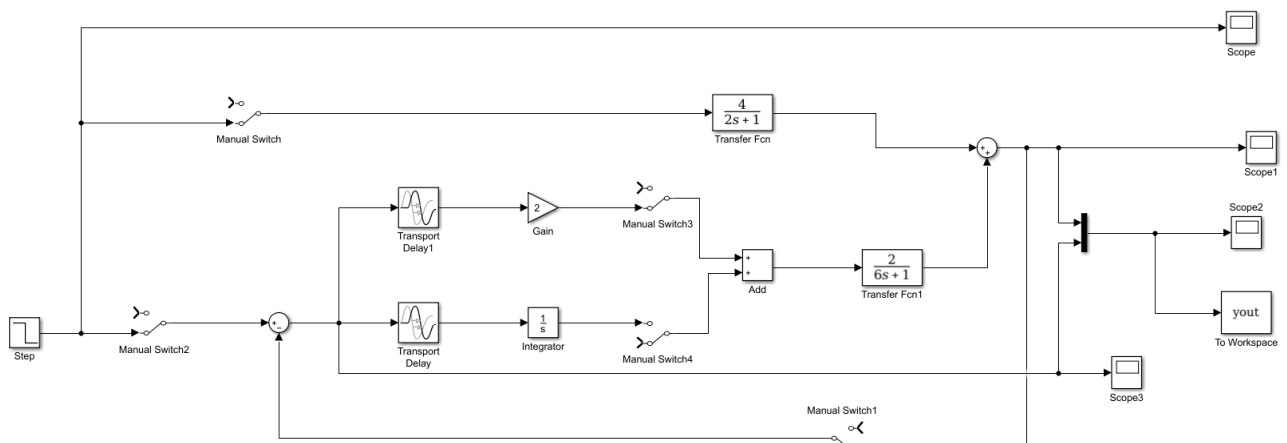
1. Особливості пакету Simulink
2. Вивчити інструкцію до комп'ютерного практикуму
3. Повторити необхідність виконання пропорційного регулятора та інтегруючого регулятора в системах автоматизації БТС
4. Типові закони регулювання систем автоматизації БТС.
5. Часові характеристики систем автоматичного регулювання БТС.
6. Динамічна та статична точність систем автоматизації БТС.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ:

Комп'ютерний практикум виконується у середовищі системи **MatLab** з використанням пакету моделювання **Simulink**.

Побудова структурної схеми САР.

Побудувати структурну модель системи автоматизації БТС у відповідності до рис. 2.3. Основні правила побудови та редагування структурних схем викладені у Навчальному посібнику «Біотехнічні системи і технології. Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс]».



Структурна схема САР

Вихідні дані для виконання роботи.

1. Встановити параметри об'єкта керування та регулятора за номером бригади у відповідності до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Бригада	Об'єкт керування за збуренням		Об'єкт керування		Gain - підсилювач	Integrator – інтегрування вхідного сигналу
	Коефіцієнт передачі	Стала часу	Коефіцієнт передачі	Стала часу		
2	4	2	2	6	2	1

2. Встановити час запізнення в блоках затримки Transport Delay підсилення регулятора відповідно до таблиці 2.3.

3. Встановити початкові параметри різних перепадів ступінчатого сигналу блоку Step за таблицею 2.4.

4. Виконати графіки побудованих перехідних характеристик (кількох за вибором бригади). Структурна схема

5. Виконати графіки границь стійкості та залежності помилок від сталої часу І-регулятора та коефіцієнта підсилення П- і ПІ-регулятора

Таблиця 2.3

Дослідження	1	2	3	4
Initial value – Початкове значення	0	0	0,5	0,5
Final value – Фінальне значення	1	1	0,1	0,1
Sample time – Час вибірки	0	3	0	3

Таблиця 2.4

Дослідження	1	2
Initial value – Початкове значення	0	0,2
Final value – Фінальне значення	1	0,5

Порядок виконання комп'ютерного практикуму

1. Відключити за допомогою перемикача інтегруючий канал та дію збурення. Підключити зворотній зв'язок та задавальну дію. Провести попереднє моделювання, під час якого визначити час моделювання та коефіцієнт передачі підсилювача. Погодити його з викладачем.

2. Визначити час запізнення (за видом перехідної характеристики), що відповідає знаходженню системи на границі стійкості.

3. Виконати пункт 2 для різних перепадів ступінчатого сигналу блоку Step (табл. 2.3) при зміні блоків затримки Transport Delay підсилення регулятора (таб. 2.4).

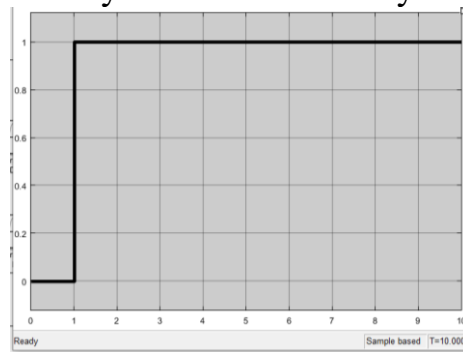
4. Побудувати границю стійкості за видом перехідної характеристики.

5. Виконати пункти 1 – 4 для пропорційного регулятора (П-регулятор), інтегруючого регулятора (І-регулятора) та пропорційно-інтегруючого регулятора (ПІ-регулятора). Замість коефіцієнта підсилення використовувати сталу часу інтегратора. Побудувати границі стійкості за видом перехідної характеристики для всіх типів регуляторів.

6. Сформулювати висновки

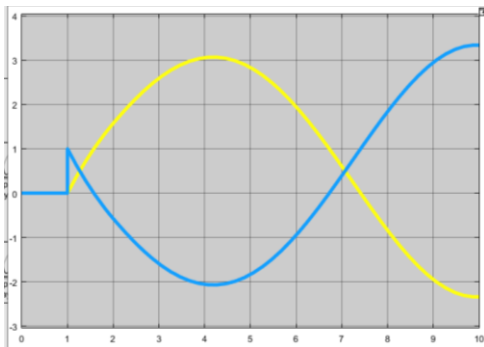
5. Дослідження результатів

Режим №1 ступенчатого сигналу блоку Step

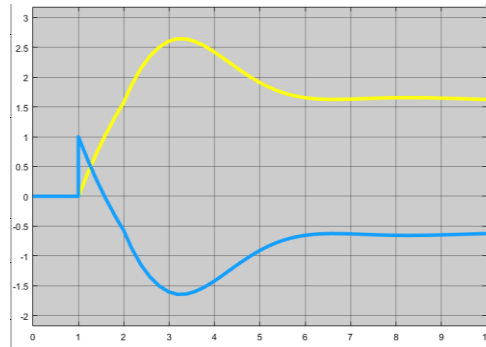


Час затримки - 1

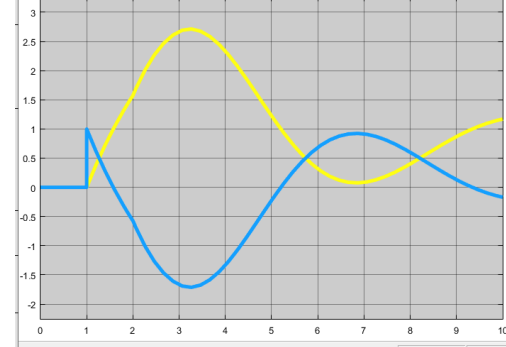
I-регулятор



П-регулятор

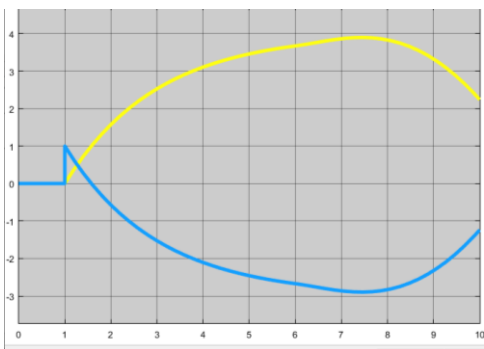


ПІ-регулятор

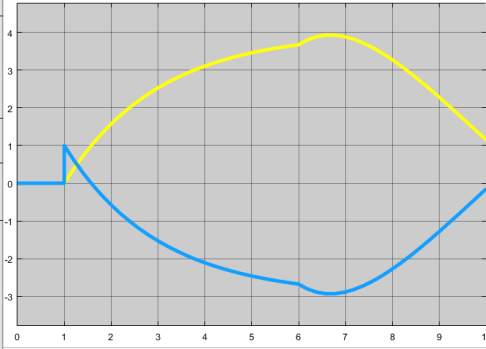


Час затримки - 5

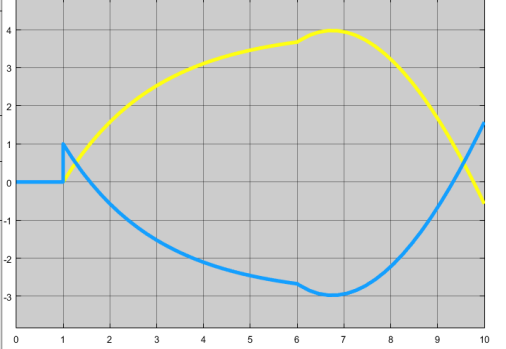
I-регулятор



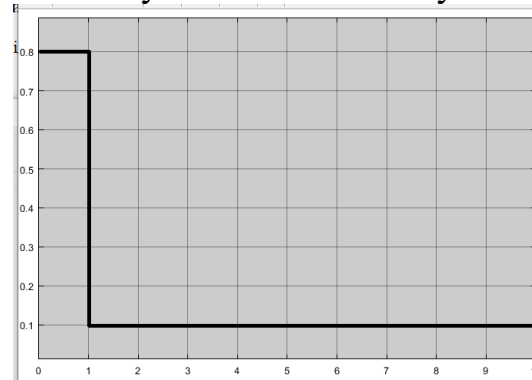
П-регулятор



ПІ-регулятор

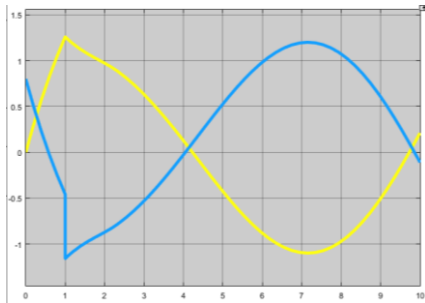


Режим №2 ступенчатого сигналу блоку Step

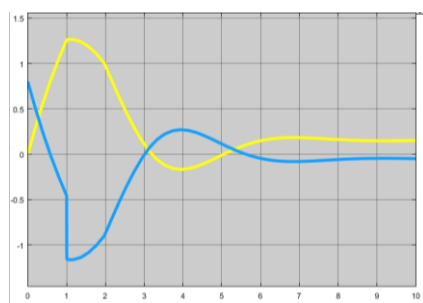


Час затримки - 1

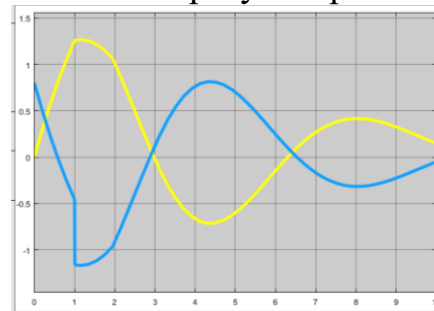
I-регулятор



П-регулятор

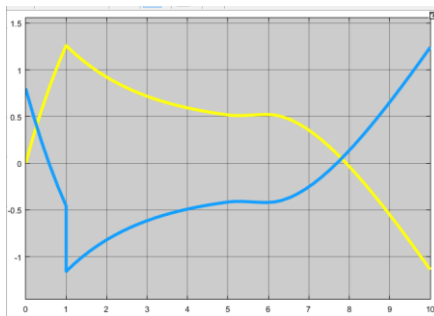


ПД-регулятор

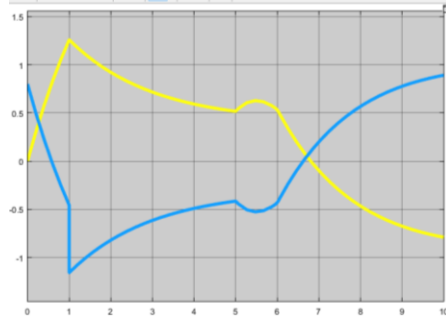


Час затримки - 5

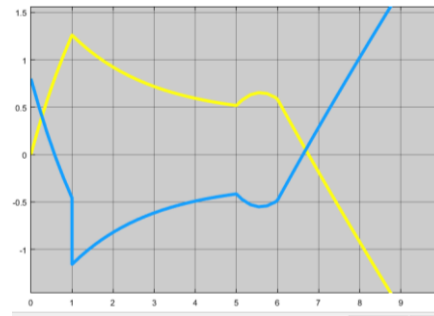
I-регулятор



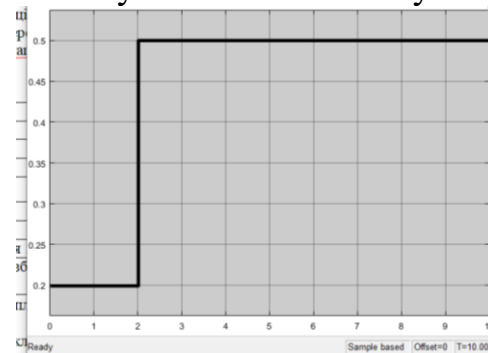
П-регулятор



ПД-регулятор



Режим №3 ступенчатого сигнала блоку Step

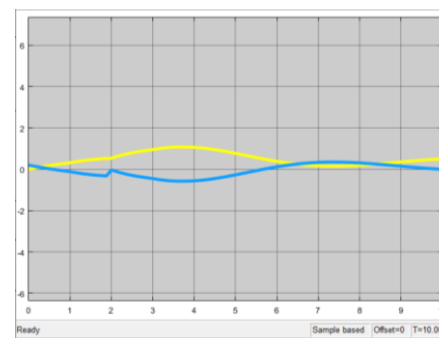
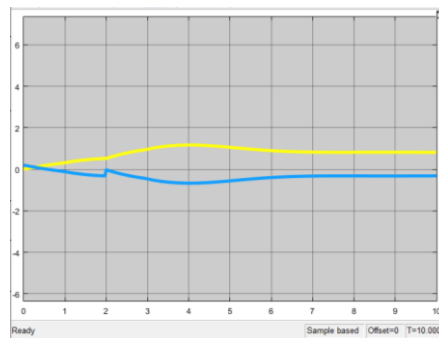
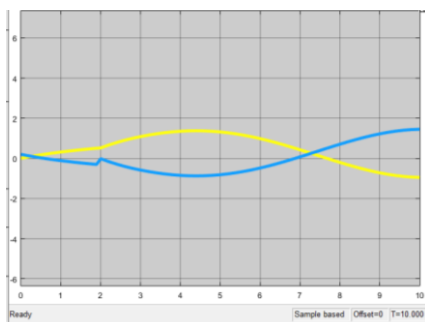


Час затримки - 1

I-регулятор

П-регулятор

ПД-регулятор

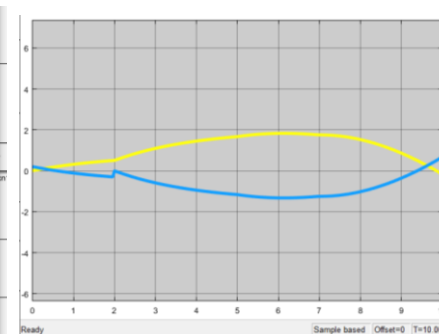
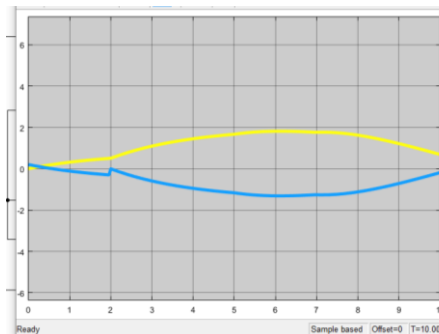
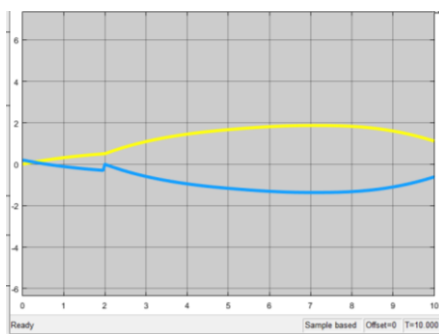


Час затримки - 5

I-регулятор

П-регулятор

ПД-регулятор



Висновки.

Після побудови графіків перехідних характеристик та границь стійкості, залежності помилок від сталої часу І-регулятора та коефіцієнта підсилення П- та ІІІ-регулятора можемо побачити, що в залежності від заданого режиму ступінчатого сигналу блоку Step, в якому вказані сталі часу та відповідними значеннями часу блока затримки, графіки залежностей мають свої скачки в часі, в залежності від сигналу затримки та дії двох перемикачів окремо та одночасно. Подальша амплітуда залежить від ступеня та значення сигналу збурення.